

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Южно-Уральский государственный
гуманитарно-педагогический университет»

На правах рукописи

Антонова

Антонова Дарья Андреевна

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ
ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ К ПРИМЕНЕНИЮ
КОМПЬЮТЕРНЫХ СИМУЛЯЦИЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ
В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ**

5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания
(физика, физика и астрономия (высшее образование))

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата
педагогических наук

Челябинск 2024

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. Теоретические аспекты содержания подготовки будущих учителей физики к разработке и применению в обучении компьютерных симуляций	17
1.1. Компьютерное моделирование как метод познания. Анализ состояния практики его применения при обучении физике в средней школе	17
1.1.1. Компьютерные симуляции в современной философии и методологии науки	18
1.1.2. Место и роль компьютерных симуляций в учебном процессе по физике в средней школе	26
1.2. Научно-методические основы применения компьютерных симуляций в учебном процессе по физике	36
1.2.1. Структура компьютерной симуляции как метода учебного исследования	36
1.2.2. Методологические и дидактические функции учебной компьютерной симуляции	40
1.2.3. Модель освоения учащимися компьютерной симуляции как метода познания при изучении курса физики средней школы	50
1.3. Учебный физический эксперимент как объект компьютерной симуляции	55
1.3.1. Назначение и виды учебной компьютерной симуляции физического эксперимента	55
1.3.2. Реализация методологических и дидактических функций компьютерных симуляций учебного физического эксперимента	61
1.3.3. Особенности разработки и применения в обучении компьютерных симуляций учебного физического эксперимента	79
<i>Выводы по главе 1</i>	86
ГЛАВА 2. Продуктивное обучение как средство формирования профессиональной методологической компетенции будущего учителя физики в проектировании и применении в обучении компьютерных симуляций	88

2.1. Методологическая составляющая профессиональной подготовки будущих учителей к разработке и применению в обучении физике компьютерных симуляций	88
2.1.1. Методология педагогической практики как объект освоения в содержании подготовки будущего учителя физики	90
2.1.2. Состояние проблемы методологической подготовки будущих учителей в области проектирования практики применения в обучении физике компьютерных симуляций	95
2.1.3. Методологические регулятивы как инструменты самостоятельного проектирования студентами практики применения в учебном процессе по физике компьютерных симуляций	102
2.2. Теоретико-методологические основы продуктивного обучения будущих учителей проектированию учебного процесса по физике	129
2.3. Методическая система продуктивного обучения студентов разработке и применению в учебной практике компьютерных симуляций физического эксперимента	138
2.4. Составляющие технологии продуктивного обучения студентов созданию компьютерных симуляций физического эксперимента и проектированию учебных занятий с их использованием	154
<i>Выводы по главе 2</i>	168
ГЛАВА 3. Организация и результаты опытно-поисковой работы	170
3.1. Цели, задачи и содержание опытно-поисковой работы. Методика диагностики результативности обучения	170
3.2. Оценка результативности опытно-поисковой работы	175
<i>Выводы по главе 3</i>	183
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	184
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	187
<i>Приложение к главе 1</i>	207
<i>Приложение к главе 2</i>	279
<i>Приложение к главе 3</i>	454

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Значимость решения проблемы подготовки будущих учителей к применению компьютерного моделирования в обучении обусловлена его ролью в обеспечении качественного и современного образования учащихся средней школы. Этот метод включен в программу школьного курса информатики еще в начале 2000-х. Требования к результату его освоения при изучении информатики определены ФГОС среднего общего образования. Касательно естественных наук, в том числе физики, этот метод в разделе требований к результатам обучения не представлен. В связи с этим основы компьютерного моделирования физических процессов могут осваиваться учащимися либо в системе дополнительного образования, либо в рамках курсов внеурочной деятельности по предмету (при их наличии). В основном курсе физики используются, как правило, «готовые» компьютерные модели и преимущественно в качестве средства обучения. Акцент ставится в большинстве случаев на реализацию их объяснительно-иллюстративного функционала (А. М. Зимин, В. А. Стародубцев). Возможности компьютерных моделей как инструмента познания остаются вне поля зрения обучающихся, что не обеспечивает необходимой полноты их представлений о системе методов современной науки.

Проблеме применения в 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), посвящен целый ряд диссертационных исследований (И. М. Нуркаева, 1999; Н. Б. Розова, 2002; А. И. Ходанович, Е. С. Кошечева, О. Е. Макарова, 2003; А. А. Финагин, 2004; Л. Х. Умарова, 2005; М. И. Старовиков, 2006; Р. А. Матвеев, 2008; Е. А. Кириченко, 2011; О. В. Заковряшина, С. Б. Рыжиков, 2014; Л. В. Тищенко, 2018). 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, в том числе и при реализации его полного цикла.

Внедрение результатов ранее выполненных исследований в предметное обучение зависит от профессиональной готовности учителя физики к работе в данной сфере деятельности. Проблема формирования этой готовности обсуждается в диссертационных работах О. В. Оськиной (2000), Р. Ф. Маликова (2005), С. Е. Попова (2006), И. И. Хинича (2011), В. А. Беянина (2012), Д. Ф. Тергулова (2017). Авторами рекомендуется строить обучение в рамках дисциплин и курсов общей и теоретической физики. Лишь в отдельных работах с этой целью исследуются возможности дисциплин методического цикла (Н. А. Оспенников, 2007; С. А. Смирнов, 2009; Е. С. Шестакова, 2010, И. В. Ильин, 2013).

Анализ результативного опыта включения компьютерного моделирования в предметное обучение в средней школе позволяет утверждать, что его успешность определяется комплексным освоением учителем физики *методологической, инструментально-технологической и предметно-методической* составляющих применения этого метода. Важным для учителя является не только приобретенный в вузе в ходе освоения фундаментальных дисциплин опыт использования КС как метода познания, но и готовность к его последующей адаптации при организации учебной работы школьников. Основу успешности этой адаптации составляет освоение учителем *методологии проектирования учебной практики* с применением КС, так как именно этот инструментарий обеспечивает необходимый уровень его профессиональной самостоятельности и открывает возможности для творчества в организации обучения. Однако, как отмечается в работах Н. Л. Коршуновой, Е. В. Титовой и др., значимые для подготовки будущего учителя *методологические аспекты проектирования педагогической практики* и сопровождающих ее средств пока не получили должного внимания в педагогической науке. Это имеет место и в научно-методических исследованиях, в том числе, связанных с практикой применения КС в обучении физике.

Предмет методологии педагогической практики связывается с рассмотрением принципов, способов и норм применения научного знания (специального, педагогического, методического) в решении задач преобразования учебного

процесса по предмету, выявлением обобщенных регулятивов проектирования и реализации этих преобразований (М. С. Бургин, В. И. Журавлев, Е. В. Титова).

Результатом освоения будущим учителем методологии педагогической практики в какой-либо ее области является его *профессиональная методологическая компетенция* (ПМК), которая определяется в настоящем исследовании как *готовность к самостоятельной продуктивной деятельности по проектированию образовательного процесса на основе современного научно-педагогического знания*. Применительно к проектированию учебного процесса по физике с использованием КС эта компетенция приобретает конкретное предметно-ориентированное содержание.

Важность обеспечения методологической направленности подготовки будущих учителей в области проектирования учебного процесса по физике с применением компьютерных симуляций определяет актуальность настоящего исследования. Его результаты направлены на разрешение следующих **противоречий**:

- *на научно-педагогическом уровне*: между высоким уровнем значимости компьютерных симуляций как метода научного познания, их эффективностью как средства обучения и сложившейся практикой применения КС в учебном процессе в средней школе, не обеспечивающей должный уровень полноты реализации их методологических и дидактических функций;

- *на научно-методическом уровне*: между необходимостью и возможностью освоения студентами основ методологии проектирования учебного процесса по физике с применением компьютерных симуляций, реализующего их функции как метода познания и средства обучения, и отсутствием методики их методологической подготовки к этой деятельности.

На основе анализа этих противоречий определена **проблема исследования**: как обеспечить методологическую подготовку будущих учителей к самостоятельному проектированию учебного процесса по физике с применением компьютерных симуляций, ориентированного на комплексную реализацию в учебной практике их функций как метода познания и средства обучения?

Актуальность поставленной проблемы послужила основанием для выбора **темы диссертационного исследования:** *«Методологическая направленность подготовки будущих учителей к применению компьютерных симуляций при обучении физике в средней школе»*

Объект исследования: процесс подготовки будущих учителей по методике обучения физике.

Предмет исследования: методологическая направленность подготовки будущих учителей к проектированию учебного процесса по физике в средней школе с применением компьютерных симуляций.

Цель исследования: научное обоснование, разработка и реализация методической системы методологической подготовки будущих учителей к проектированию практики применения в обучении физике в средней школе компьютерных симуляций.

Гипотеза исследования: методологическая подготовка будущих учителей к проектированию практики применения в обучении физике в средней школе компьютерных симуляций будет результативной, если методическая система этой подготовки в качестве факторов (целевого, функционального, структурно-организационного), определяющих содержание и отношения ее элементов, включает:

- самостоятельную проектную деятельность студентов, реализуемую на основе продуктивного обучения как технологии освоения профессионального опыта в рассматриваемой области педагогической практики;

- освоение студентами комплекса методологических регулятивов проектной деятельности, определяющих направления поиска и применения специального научного и научно-методического знания в области разработки и использования в учебном процессе по физике компьютерных симуляций как *объекта* и *метода* познания, как *средства* обучения;

- реализацию междисциплинарных связей фундаментальной и методической составляющих предметной подготовки студентов по профилю обучения как необходимого условия обеспечения системного подхода к формированию у них опыта компьютерного моделирования и адаптации практики его приме-

нения при проектировании учебного процесса по физике с использованием компьютерных симуляций.

Задачи исследования:

1. Дать характеристику актуального состояния проблемы подготовки будущих учителей к применению компьютерных симуляций в учебном процессе по физике в средней школе (теоретический и практический аспекты анализа). Обосновать необходимость обеспечения методологической составляющей этой подготовки как важного фактора ее результативности.

2. Разработать компоненты содержания методологической подготовки студентов к проектированию практики применения в обучении физике компьютерных симуляций и средств ее дидактического обеспечения.

3. Определить теоретико-методологические подходы к построению методической системы методологической подготовки будущих учителей физики к применению компьютерных симуляций в обучении.

4. Разработать методическую систему методологической подготовки студентов в рассматриваемой области педагогической практики и базовые компоненты технологии ее реализации.

5. Разработать методику диагностики уровня готовности студентов к проектированию практики применения КС в обучении физике в средней школе. Дать оценку результативности методической системы методологической подготовки будущих учителей в данной области профессиональной деятельности.

Теоретико-методологические основы исследования: основы методологии компьютерного моделирования (А. А. Самарский, Ю. П. Попов, Б. Я. Советов); основы теории и методики обучения компьютерному моделированию в курсе информатики средней школы (К. Ю. Поляков, И. Г. Семакин, Е. К. Хеннер); научно-методические подходы в области обучения компьютерному моделированию физических процессов (Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев, В. В. Лаптев, В. С. Козел, С. Е. Попов, А. И. Ходанович); теоретические аспекты разработки и применения в обучении физике компьютерных симуляций (Д. В. Баяндин, С. М. Козел, А. С. Кондратьев, В. В. Ларионов, Е. В. Оспенникова, М. И. Старовиков, В. А. Стародубцев, Н. К. Ханнанов, А. С. Чирцов); основы методологии педа-

гогики, включая методологию педагогической практики (М. С. Бургин, Р. В. Гуркина, М. А. Данилов, Н. Л. Коршунова, В. В. Краевский, Н. А. Лызь, Н. С. Пурышева, Е. В. Титова), методологии проектирования педагогического процесса (Ю. В. Громыко, Н. А. Колесникова, А. М. Новиков, Д. А. Новиков, Ю. Г. Татур, А. Н. Ходусов) и педагогической инноватики (В. И. Загвязинский, М. В. Кларин, А. П. Усольцев, Т. Н. Шамало); основы технологии продуктивного обучения (М. И. Башмаков, И. Бем, Й. Шнайдер); основы теории и методики организации познавательной деятельности учащихся при изучении физики (М. Д. Даммер, Е. В. Оспенникова, Н. С. Пурышева, Ю. А. Сауров, А. В. Усова, Т. Н. Шамало, А. А. Шаповалов, Н. В. Шаронова).

Методы исследования. *Эмпирические:* сбор научных фактов – экспертная оценка и комплексный анализ учебных КС цифровой образовательной среды, сравнительный анализ опыта работы учителей и преподавателей вузов в применении КС в обучении, результатов учебной деятельности обучающихся и данных экспериментальных педагогических исследований; опытно-поисковая работа (констатирующий, поисковый и формирующий этапы); систематизация и обобщение педагогических фактов. *Теоретические:* контент-анализ философской, специальной научной, психолого-педагогической, учебной и научно-методической литературы, апробированных подходов к обучению и его теоретических моделей, противоречий теоретического знания; выдвижение гипотез и педагогическое моделирование; методы статистической обработки данных опытно-поисковой работы (t-критерий Стьюдента, коэффициент корреляции Пирсона, тест Шапиро-Уилка).

Экспериментальная база исследования. Опытно-поисковая работа выполнена на базе физического факультета и факультета информатики и экономики Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета и Лаборатории ЦОР и педагогического проектирования ПГГПУ.

Этапы исследования. *На первом этапе* (2012 – 2016 гг.) был проведен анализ специальной научной, психолого-педагогической и научно-методической литературы по проблеме исследования, определены его теоретико-методологические основы. Дано обоснование необходимости профессиональной мето-

дологической подготовки будущих учителей физики к разработке и применению в обучении компьютерных симуляций. Сформулированы цели, определены объект, предмет, гипотеза и задачи исследования. Разработан план опытно-поисковой работы (ОПР), реализован ее констатирующий этап. *На втором этапе* (2016–2019 гг.) разработаны концептуальная модель и методическая система методологической подготовки студентов к проектированию учебного процесса по физике с применением КС. Определены базовые составляющие технологии ее реализации, разработано их содержание. Выявлены критерии и показатели диагностики уровня профессиональной методологической компетенции студентов в области разработки и применения КС в учебном процессе по физике. Реализован поисковый этап ОПР, выполнены апробация методики и технологии обучения и их частичная корректировка. *На третьем этапе* (2019–2023 гг.) реализован формирующий этап ОПР с целью проверки справедливости гипотезы исследования. Проведены обработка, анализ и обобщение полученных результатов, сформулированы выводы, оформлена рукопись диссертации.

Научная новизна исследования

1. В отличие от исследований, связанных с обучением будущих учителей компьютерному моделированию при освоении дисциплин общей и теоретической физики (В. А. Белянин, Р. Ф. Маликов, С. Е. Попов, Д. Ф. Терегулов, И. И. Хинич) (2005–2017), и исследований, в которых в рамках дисциплин методического цикла рассматривались вопросы обучения студентов созданию и применению в учебном процессе по физике в средней школе компьютерных симуляций конкретного дидактического назначения (И. В. Ильин, Н. А. Оспенников, Е. С. Шестакова) (2007–2013), в настоящей работе впервые поставлена и решается проблема методологической подготовки студентов к самостоятельному проектированию практики применения в курсе физики средней школы компьютерных симуляций как *объекта* и *метода* познания, как *средства* обучения.

2. Определены системообразующие факторы построения модели методической системы методологической подготовки: а) *организация продуктивного*

обучения студентов основам методологии проектирования компьютерных симуляций и практики их применения в учебном процессе по физике; б) *использование комплекса методологических регулятивов проектной деятельности*, определяющих ее общую стратегию, содержание, структуру и логику; в) *реализация* междисциплинарных связей фундаментальной и методической составляющих предметной подготовки на основе дисциплинарно-распределенной программы обучения будущих учителей в области методологии разработки и применения компьютерных симуляций в обучении физике в средней школе.

3. Разработана и теоретически обоснована методическая система методологической подготовки будущих учителей проектированию учебного процесса по физике с применением компьютерных симуляций. Содержание составляющих системы (*целей, содержания, методов и средств обучения, форм занятий*) определено в соответствии с выявленными факторами построения ее модели, что обеспечивает направленность этой системы на формирование *профессиональной методологической компетенции* студентов в проектировании практики применения КС в учебном процессе по физике как *объекта и метода* познания, как *средства* обучения.

4. Разработаны базовые компоненты технологии продуктивного обучения (PL – от англ. Productive Learning), а именно: определены *субъекты PL*, его *цели* в отношении объекта проектирования (КС учебного физического эксперимента), *содержание* и *этапы* обучения. Деятельностную основу освоения содержания обучения составляют: а) *система продуктивных актов* (концептуальных, процессуальных) проектирования образовательного продукта (авторской компьютерной симуляции и практики ее применения в обучении физике); б) *комплекс методологических регулятивов* (структурно-системных, структурно-содержательных и структурно-процессуальных) как объектов познания и инструментов проектной деятельности студентов.

5. Предложена методика диагностики уровня профессиональной методологической компетенции будущих учителей физики в области проектирования педагогической практики, связанной с созданием и использованием компьютерных симуляций в обучении. К критериям оценки уровня ПМК отнесены:

а) качество созданного образовательного продукта, б) уровень методологических знаний и умений в их применении при выполнении проекта, в) уровень самостоятельности проектной работы студента. Доказана результативность разработанной методической системы методологической подготовки и технологии ее реализации.

Теоретическая значимость исследования. Результаты исследования вносят вклад в развитие основ теории и методики обучения физике в средней школе и системы научно-методического знания в области профессиональной подготовки будущих учителей физики.

1. Доказана целесообразность методологической подготовки будущих учителей к проектированию практики обучения физике в средней школе с применением компьютерных симуляций. Разработаны компоненты ее содержания:

- модель освоения учащимися компьютерного моделирования (КМ) при изучении курса физики средней школы (базовый и профильный уровни) как *объекта и метода познания, как средства обучения;*

- структура компьютерного моделирования как метода учебного познания; характеристика уровней его применения в обучении, а именно: выполнение учащимся полного цикла компьютерного моделирования; работа с компьютерной симуляцией, созданной учащимся из базовых элементов учебного конструктора; работа с «готовой» компьютерной симуляцией;

- структура учебного компьютерного эксперимента с «готовой» компьютерной симуляцией, уровни его выполнения соответственно сложности математической модели физического явления;

- система методологических функций учебных КС физических процессов, раскрывающая их возможности как метода познания: *гносеологических (конструктивных и инструментальных), интегрирующих и регулятивных;*

- система дидактических функций КС, демонстрирующая их возможности в совершенствовании знаний и умений учащихся по физике;

- классификация КС физических процессов в ее уточненной версии (по объекту моделирования, назначению, уровню интерактивности, технологии реализации);

– виды КС учебного физического эксперимента (УФЭ) как объекта моделирования: *учебный компьютерный симулятор лабораторного/натурного эксперимента; учебный виртуальный лабораторный/натурный эксперимент (симулятор на основе «скрытого» вычислительного эксперимента); учебный компьютерный вычислительный эксперимент*; состав методологических и дидактических функций компьютерных симуляций УФЭ, особенности разработки и практики применения в обучении КС этого вида.

2. Введено понятие *«профессиональная методологическая компетенция в области проектирования педагогической практики и средств ее дидактического обеспечения»*, раскрыт ее компонентный состав (знать, уметь, владеть) в отношении проектирования практики применения компьютерных симуляций в учебном процессе по физике в средней школе.

3. Уточнено содержание теоретико-методологического базиса продуктивного обучения как составляющей модели методической системы методологической подготовки студентов в рассматриваемой области педагогической практики. Определены соответственно обновленному базису принципы продуктивного обучения (*сущностные, атрибутивные*) и условия его организации.

4. Разработан комплекс методологических регулятивов проектной деятельности, раскрывающих: 1) структуру методов учебного познания (физического эксперимента, компьютерного моделирования физических процессов); 2) обобщенные характеристики компьютерных симуляций, принципы и требования к их проектированию; 3) методологические ориентиры предметной дидактики, связанные с применением КС в обучении физике; 4) структуру современного научно-педагогического знания как теоретико-методологической основы поиска и обоснования проектных решений.

Практическая значимость исследования. Использование результатов исследования в обучении будущих учителей обеспечит их готовность к комплексной реализации в учебном процессе по физике методологических и дидактических функций компьютерных симуляций. Это будет способствовать обновлению практики применения КС в курсе физики средней школы и росту

качества подготовки учащихся по предмету. Практико-ориентированные результаты исследования представлены: 1) *дисциплинарно-распределенной программой* обучения основам методологии педагогической практики в рассматриваемой области профессиональной деятельности, базирующейся на реализации междисциплинарных связей фундаментальной и методической составляющих предметной подготовки бакалавров педагогического образования (с двумя профилями: физика, информатика); 2) методическими рекомендациями по реализации технологии продуктивного обучения будущих учителей методологии проектирования учебного процесса по физике с применением КС (на примере компьютерных симуляций УФЭ); 3) базой созданных студентами цифровых учебных модулей, включающих симуляции УФЭ различных видов и дидактические материалы сопровождения. Учебно-методические и дидактические материалы могут быть использованы в преподавании методических дисциплин в педагогическом вузе, в обучении физике в школе, включая организацию курсов внеурочной деятельности.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечена: всесторонним анализом поставленной проблемы, применением современной методологии исследования, разнообразием методов опытно-поисковой работы и корректностью их применения, контролируемостью условий проведения ОПР и воспроизводимостью ее результатов, применением методов математической статистики с целью оценки достоверности выводов по итогам ОПР, признанием педагогической общественностью основных результатов исследования.

Апробация и внедрение результатов исследования осуществлялась в ФГБОУ ВО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет». Результаты исследования представлены на конференциях и симпозиумах *международного уровня*: «Электронные ресурсы в непрерывном образовании» (Ростов н/Д, 2012, 2015, 2018); «Физика в системе современного образования («ФССО-2013», Петрозаводск, 2013); «Физика в системе современного образования («ФССО-2015», СПб, 2015); «Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития» (Москва, 2013,

2015); «Преподавание естественных наук, математики и информатики в вузе и школе» (Томск, 2018); «Научные исследования» (Пенза, 2023); *всероссийского уровня*: «Интеллектуальный капитал и инновационное развитие общества, науки и образования» (Пенза, 2019); «Актуальные вопросы современной науки и образования» (Пенза, 2021).

Положения, выносимые на защиту.

1. Высокий образовательный потенциал и разнообразие функций учебных компьютерных симуляций являются основанием их включения в состав осваиваемых учащимися методов учебного познания и дидактических средств обеспечения учебного процесса по физике в средней школе. Применение компьютерных симуляций в учебной практике в соответствии с их функционалом как *объекта* и *метода* познания, как *средства* обучения станет успешным при условии целенаправленной подготовки будущих учителей физики в этой области профессиональной деятельности.

2. Результативность этой подготовки обеспечивается за счет освоения студентами основ *методологии проектирования практики* обучения физике с применением компьютерных симуляций. Целью реализации такого подхода является формирование у будущих учителей физики в этой области деятельности *профессиональной методологической компетенции* – готовности к самостоятельной продуктивной деятельности по проектированию образовательного процесса на основе современного научно-педагогического знания.

3. Теоретико-методологический базис построения модели методической системы методологической подготовки будущих учителей физики в рассматриваемой области педагогической практики составляют: концепция продуктивного обучения, основы методологии проектирования педагогической практики применения КС в обучении, основы дидактики междисциплинарных связей (МДС) как условия реализации принципов научности и системности в обучении.

Системообразующими факторами, определяющими специфику и взаимосвязь элементов методической системы (ее *целей, содержания, методов, средств и форм организации*) являются: а) обучение студентов на основе *персо-*

нального опыта продуктивной деятельности по разработке КС и проектированию практики их применения в учебном процессе по физике в средней школе; б) использование в обучении комплекса методологических регулятивов, раскрывающих содержание, структуру, логику проектирования учебного процесса по физике с применением КС и направления поиска проектных решений на основе современного научно-методического знания; в) опора на междисциплинарные связи фундаментальной и методической составляющих предметной подготовки будущих учителей в области компьютерного моделирования, реализуемые на основе применения дисциплинарно-распределенной программы обучения и определяющие вклад в данную подготовку каждой из включенных в эту программу дисциплин.

4. Технология продуктивного обучения рассматривается как «процессуальная подсистема» методической системы методологической подготовки студентов. Организация продуктивного обучения целесообразна в рамках одной из учебных дисциплин методического цикла на завершающем этапе обучения в вузе. Программа этой дисциплины должна быть интегрирована в исполняемые проекты и представлена *системой концептуальных и процессуальных актов проектной деятельности*. Их состав и содержание, этапы выполнения формируются с ориентиром: а) на создание востребованного в практике обучения физике образовательного продукта (компьютерной симуляции физического процесса, цифровых дидактических материалов ее сопровождения, проекта учебного занятия с применением КС); б) овладение *методологическим инструментарием и опытом проектной деятельности* на его основе в области разработки и применения компьютерных симуляций в обучении физике в средней школе.

5. На основе разработанной методики диагностики профессиональной методологической компетенции будущих учителей в области проектирования учебного процесса по физике с применением компьютерных симуляций доказана результативность предложенной методической системы их методологической подготовки в этой области педагогической практики, обеспечена статистическая достоверность результатов обучения.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ К РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИЮ В ОБУЧЕНИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИМУЛЯЦИЙ

1.1. Компьютерное моделирование как метод познания.

Анализ состояния практики его применения при обучении физике в средней школе

Традиционно обучение будущих учителей физики компьютерному моделированию осуществляется на базе фундаментальных дисциплин предметного модуля учебного плана подготовки бакалавров педагогического образования (физики, математики, информатики). Содержание обучения включает: 1) освоение *понятийного аппарата* методологии компьютерного моделирования; 2) изучение *инструментальной* составляющей данного метода (процедуры построения и исследования на компьютере моделей физических явлений) и осмысление его *конструктивного* контекста (направленности на приращение знания); 3) овладение начальным *опытом применения компьютерного моделирования* в исследовании физических процессов. Считается, что в итоге у выпускника педагогического вуза будут сформированы адекватное понимание методологического статуса компьютерного моделирования, определяемого его особым местом в системе методов научного поиска, и готовность к включению данного метода в практику преподавания физики в средней школе. Однако такой подход к обучению будущих педагогов пока не дает удовлетворительного результата. Является необходимой их дополнительная профессиональная подготовка, связанная с изучением данного метода в его адаптированном (учебном) варианте и овладением методологией самостоятельного проектирования практики его применения в учебной деятельности школьников. Эта задача может быть успешно решена в рамках дисциплин методического цикла, но при этом с неременной опорой на знания и умения, приобретенные студентами в ходе освоения фундаментальных дисциплин учебного плана. В этой связи необходима разработка системы такой подготовки, определения ее содержания, методов

и форм организации. Рассмотрим наиболее значимые аспекты содержания подготовки будущих учителей физики к разработке и применению в обучении компьютерных симуляций.

1.1.1. Компьютерные симуляции в современной философии и методологии науки

Стимулирующим фактором применения учителем средней школы компьютерного моделирования в учебном процессе по физике является глубокое понимание им особенностей и научной ценности данного метода. Рассмотрим наиболее важные для освоения будущими учителями физики характеристики компьютерного моделирования, благодаря уникальности которых ему приписывается статус нового эффективного метода научного поиска.

Компьютерное моделирование определяется как процесс построения, исследования и использования компьютерной модели изучаемого явления (объекта, процесса). Собственно этап исследования модели обозначается как *компьютерный вычислительный* (или численный) *эксперимент* (КВЭ) и может рассматриваться как относительно самостоятельный метод в структуре более сложного метода [111, с. 125]. Принятое обозначение («компьютерный эксперимент») объясняется наличием у компьютерного и физического экспериментов ряда общих признаков. Однако благодаря именно компьютерному эксперименту, обеспеченному мощным вычислительным потенциалом и развитым графическим инструментарием ЭВМ, в науке стали возможными результаты, недостижимые средствами классического физического экспериментирования.

Компьютерный вычислительный эксперимент или для краткости обозначения *компьютерный эксперимент* – *особый метод познания*, в котором во взаимосвязи реализуются теоретический и экспериментальные методы исследования. Объектом изучения в таком эксперименте является замещающая исследуемое явление *компьютерная модель* – *программа, написанная на алгоритмическом языке, введенная в память компьютера и реализующая алгоритм решения уравнений, являющихся математической моделью данного*

явления [96, с. 14]. В дополнение к данному определению следует отметить, что ходе моделирования математические процедуры расчета модели могут оказаться трудно реализуемыми, сложными или чрезмерно трудоемкими. В этом случае система уравнений, определяющая поведение объекта исследования, может быть заменена на другую, ей подобную, но более простую. В других ситуациях может потребоваться включение в имеющуюся систему дополнительных уравнений, определяемых исследователем исходя из некоторых гипотетических оснований, поскольку из-за ограниченности наших знаний о природе эта система может оказаться незамкнутой. Построенные таким образом математические модели относятся к *имитационным*.

Не являются редкими случаи отсутствия математического описания исследуемого объекта. В таких ситуациях математические соотношения не записываются. Разрабатывается и применяется некоторый алгоритм, обеспечивающий нахождение выходных (неизвестных) параметров объекта по заданным (известным) [17, С. 35]. Данный алгоритм отображает, как правило, порядок развития процесса внутри исследуемого объекта как сложной системы и имитирует составляющие ее элементарные явления с сохранением их специфики, последовательности протекания и взаимодействий друг с другом [111, с. 134]. Построение такого алгоритма позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях объекта в различные моменты времени и оценить его характеристики как сложной системы. В этом случае речь тоже идет об *имитационном моделировании* [18, с. 74]. Если при этом поведение некоторых из элементов исследуемого объекта может быть все же представлено математической моделью, то такое моделирование определяется как *гибридное*

Имитационные и гибридные модели, как правило, очень сложны. Их архитектура отличается большим числом алгоритмических структур, форм представления информации и семантических связей. Такие модели требуют особых методов проектирования. Решаются вопросы совместимости и правильной интеграции множества моделей разных видов, алгоритмов, баз данных, технологий визуализации и других составляющих «... в единой имитационной модели

для ее реализации в качестве полнофункционального компьютерного моделирования» [173]. При этом такие модели обладают бесспорными достоинствами, поскольку могут быть созданы для широкого класса объектов и процессов, а также систем произвольной сложности [111, с. 134].

Различают *статические* модели, характеризующие исследуемый объект в определенный момент времени, и *динамические*, демонстрирующие его временную эволюцию. В современной практике научных исследований большинство моделей, используемых в компьютерном вычислительном эксперименте, – это *имитационные* или *гибридные динамические модели*.

Следует различать понятия «компьютерная модель» и «компьютерная симуляция», последнее связывается с процессом воссоздания поведения системы или процесса на основе компьютерной модели с целью ее исследования или использования при проведении компьютерного эксперимента.

Результаты КВЭ действительны только для случая, соответствующего конкретным условиям выполнения исследования (заданным аргументам). При их изменении расчет выполняется заново. Такое решение для каждого конкретного набора условий равноценно физическому эксперименту. Именно поэтому численное моделирование называют *математическим экспериментом*, а его реализацию на ЭВМ – *компьютерным экспериментом*.

Численный компьютерный и физический эксперименты имеют и другие общие черты. Компьютерный эксперимент, как и реальный, планируется. При этом исследуемое явление заменяется его математическим (и/или алгоритмическим) описанием (моделью). Это описание включает не все, а только наиболее существенные характеристики явления. Экспериментальной установкой является компьютер как физический объект и программа, реализующая разработанный алгоритм. Задаются условия проведения КВЭ. Расчеты, выполняемые компьютером, аналогичны измерениям, а результатом исследования являются численные значения конкретных параметров изучаемого явления.

КВЭ повторяется при разных параметрах исследуемого явления, меняются начальные и граничные условия его протекания, варьируются внешние воз-

действия. Компьютерные модели обрабатывают множество значений параметров, характеризующих протекание явления, и обладают репрезентативными возможностями. С этой целью используются разные способы визуализации результатов моделирования (таблицы, графики, диаграммы, анимации и др.).

Данные КВЭ сохраняются, возможна их статистическая обработка. Дается оценка точности вычислений, поскольку ошибки накапливаются как следствие машинного округления, связанного с конечной разрядностью чисел на компьютере, и неточности алгоритма решения поставленной задачи. Эта оценка обязательна для последующего сравнения результатов компьютерного моделирования с данными физического эксперимента.

По итогам КВЭ осуществляются анализ и интерпретация полученных результатов, их систематизация и последующее обобщение, в итоге делаются выводы о свойствах реального объекта или особенностях протекания исследуемого процесса. Если модель явления построена некорректно, то полученное решение может не совпадать с данными физического эксперимента. Причиной этому, как правило, неудачное математическое описание явления, которое в таком случае подлежит доработке или изменению. Не менее важен выбор метода решения математической задачи. Могут использоваться *аналитические* или *численные* методы, а для сложных математических моделей *смешанные* (численно-аналитические) [18, с. 75]. В целом ряде случаев доработке может подлежать и алгоритм решения поставленной задачи.

Последние несколько десятилетий благодаря значительным достижениям применения компьютерного эксперимента в различных областях научного знания ему стали уделять особое внимание в исследованиях, касающихся философии науки и методологии научного поиска. Поставлена и обсуждается проблема определения термина «*компьютерная симуляция научного эксперимента*» (КСНЭ) с позиции природы данного феномена.

Результаты КСНЭ связываются не только с получением расчетных данных, но и с прогнозированием поведения исследуемых систем, а также с построением (или корректировкой) теоретического знания, объясняющего их по-

ведение. Считается, что на этом основании термин «компьютерная симуляция» претендует на новое для философии науки *эпистемологическое значение*. Развитие «... вычислительных технологий заставляет пересматривать сущностную роль компьютерных симуляций в современной философии науки с позиции одной из форм динамического математического моделирования к новому, не имеющего аналогов, источнику знаний, формируемого способами, недоступными когнитивным возможностям человека в силу природы антропологических ограничений, ...источнику новых гипотез и теорий через новые методы экспериментирования» [155, с.167].

Важно отметить, что единое мнение в философии науки относительно природы компьютерных симуляций как феномена современной практики экспериментальных исследований пока отсутствует. Выделяют «*проблеморешающий*» (от англ. *problem-solving viewpoint*) и «*поведенческий*» (от англ. *behavior viewpoint*) подходы к решению этого вопроса (Т. В. Хамдамов) [156, 41].

В рамках первого подхода (*problem-solving viewpoint*) сущностную функцию КС связывают с применением *нового инструментария* – автоматизированных вычислительных систем, обеспечивающих решение сложных задач с большим числом переменных, которое ранее было невозможно получить традиционными аналитическими методами. КС рассматривают как неотъемлемую часть математических моделей, не связанных напрямую с научным экспериментом. Указывается на необходимость КС как инструмента познания, но при этом не допускается ее онтологическая (сущностная) самостоятельность как метода: «... компьютерные симуляции – это любой способ решения математических моделей с помощью применения вычислительных машин, решить которые аналитическими способами невозможно» (П. Хамфрис) [175, с. 501].

В рамках второго подхода (*behavior viewpoint*) главной отличительной особенностью компьютерной симуляции является более детальная и приближенная к реальному исследуемому объекту разработка ее описательной модели, а также применение более совершенных алгоритмов и языков программирования, реализующих вычислительные процессы симуляции. Ставится задача

максимально точно воспроизвести свойства и функционал изучаемого объекта для повышения достоверности численного моделирования. Считается, что КС имеют все признаки эксперимента как метода познания и не уступают в познавательном смысле ни натурной, ни лабораторной его версиям. КСНЭ рассматривается как «... симуляция системы или организма – это операция модели или симулятора, которая представляет систему или организм. ...Работа модели может быть изучена, и, исходя из этого, могут быть выведены свойства, относящиеся к поведению реальной системы или ее подсистемы» (М. Шубик) [Цит. по 155, с. 173]. За компьютерными симуляциями закрепляется «... свойство репрезентативности, которое являет собой качественное отличие от обычного вычисления математической модели» [155 с. 173]. Сторонники данного подхода, не отрицая важность собственно процесса вычислений математических моделей, все-таки ведущей сущностной характеристикой КС определяют факт продуцирования в данном процессе информации, которая трансформируется в *новые знания* об объекте исследования. Компьютерные симуляции, отмечает Й. Ленхард, «... это не просто один из видов математического эксперимента, а новый тип моделирования [Цит. по 156, с. 40]. По его мнению, симуляции нельзя отнести напрямую ни методам теоретического познания, ни к классическому эксперименту. Ведется речь о *гибридной форме научного метода*, который применяется в работе симулятора вычислительной машины, а именно о *смешении теоретической концепции и эксперимента над математической моделью, эту концепцию реализующей*. Построение на основе теоретической концепции математической модели и ее симуляция в форме численного эксперимента важны не только с точки зрения получения конкретных численных данных об исследуемом объекте. Ценность КС состоит в том, что помимо прочего она может использоваться и с целью преобразования данной модели на основе построения новых теоретических гипотез. Это значит, что для КС актуальны не только *инструментальный*, но и *конструктивный*, а также *эпистемический* аспекты обсуждения их сущности как особого метода познания [156, с. 42].

Сторонники названных подходов по-разному смотрят и на процессы развития компьютерных симуляций как метода исследования. В первом случае (*problem-solving viewpoint*) акцент ставится на совершенствование КС через улучшение технических характеристик компьютера, обеспечивающих его высокую эффективность в решении сложных математических задач. Во втором случае (*behavior viewpoint*) внимание сосредоточено на качественном моделировании объекта (целевой системы) за счет построения его адекватной математической модели, обновления вычислительных алгоритмов, введения поправок, изменения алгоритмов программного обеспечения и т.д. При этом не отрицается важность развития программно-аппаратного комплекса КС.

Второй подход к анализу компьютерных симуляций представляется более полным. Действительно, полезность инструментальной составляющей вычислительного эксперимента не вызывает сомнений, но весьма значимой является при этом и его конструктивная (познавательная) функция.

К познавательным результатам КВЭ относятся, прежде всего, неизвестные численные характеристики исследуемых объектов и процессов, которые невозможно (или затруднительно) получить в физическом эксперименте или в ходе аналитического решения задачи. При этом графический инструментарий программной реализации КС и различные технологии построения изображений позволяют сделать результаты численного эксперимента наглядными (таблицы данных, графики, анимация динамических структур объектов и их систем и др.), что обеспечивает возможности их более глубокого анализа и последующей интерпретации. Это означает, что в структуре КСНЭ как метода познания имеют место процедуры близкие к *аналитическому исследованию математической модели*. Следствием этой аналитики являются новые знания об изучаемых явлениях, возникающие как результат систематизации и обобщения данных компьютерного эксперимента, в том числе в виде характеризующих эти явления закономерных связей: причинно-следственных (динамических, вероятностных), функциональных, атрибутивных, структурных и др.

Результаты численного моделирования проверяются на достоверность. Среди способов этой проверки *главным является физический эксперимент*. В случае численного исследования модели, построенной с привлечением гипотез для замыкания недостающих связей в системе характеризующих ее уравнений (т.е. базирующейся на имитационном подходе к ее построению), появляется возможность проверки данных гипотез. Сравнение результатов такого моделирования с результатами физического эксперимента приводит к объективно новому знанию, но уже имеющему другой научный статус – *теоретический*. Это могут быть новые представления о сущности исследуемых процессов или уточнение уже сложившегося их толкования.

Широта познавательного поля теоретических исследований с применением КСНЭ определяется на основе содержательной классификации математических моделей, применяемых в физике. Выделено восемь типов моделей, обозначенных следующим образом: 1) гипотеза, 2) феноменологическая модель, 3) приближение, 4) упрощение, 5) эвристическая модель, 6) аналогия, 7) мысленный эксперимент, 8) демонстрация возможности. Это значит, что в ходе компьютерного моделирования возможна реализация восьми типов исследовательских позиций, следствием которых будет достижение нового научного знания (Р. Пайерлс) [180].

Компьютерные симуляции используются не только на теоретической стадии научного познания. Продуктивным является их использование при проведении эмпирических исследований, а также в области научно-технической деятельности. Место и роль компьютерных симуляций как метода исследования в системе уровней научного познания рассматривается в настоящем исследовании в п. 2.1.3 (с. 111–114).

Из философского анализа *компьютерной симуляции научного эксперимента* следует признание ее сложной структуры и особой методологии. Разумно воздерживаться, как отмечает Х.М. Дуран, от обсуждения КСНЭ как простой реализации математической модели на физическом компьютере. Такой подход обедняет природу и снижает ее значимость в методологическом аппа-

рате науки, незаслуженно представляя в конечном итоге КСНЭ лишь как средство, имеющее чисто инструментальную ценность [173]. Методологический потенциал КСНЭ как метода познания существенно богаче. Наряду с *инструментальными* возможностями он включает *конструктивную* составляющую, направленную на приращение знания, получение его нового содержания.

Методологические функции КСНЭ (*гносеологических, интегрирующие, регулятивные*) образуют обширную систему. Содержание данной системы представлено в нашем исследовании в п. 1.2.2 (с. 41–45). Методологические функции компьютерного моделирования – важный объект изучения для будущего учителя физики, ориентированного на включение этого метода в учебный процесс по предмету в средней общеобразовательной школе.

1.1.2. Место и роль компьютерных симуляций в учебном процессе по физике в средней школе

Значимый методологический статус компьютерного вычислительного эксперимента, современные тенденции в его развитии и широкая практика применения в научных исследованиях не позволяют обойти данный метод вниманием при определении содержания образования не только в высшей, но и в средней школе. Включение вопросов компьютерного моделирования в содержание школьного образования, а именно *в программу обучения информатике*, относится к началу 2000-х гг. В Стандарте общего среднего образования (ФГОС, 2004 г.) сформулированы требования уровню подготовки выпускника школы в этой области знаний и дана их дифференциация для базового и профильного уровней обучения. Действующим Стандартом от 2012 г. (*с изменениями на 12 августа 2022 года*) данные требования уточнены.

На *базовом уровне* у старшеклассников при изучении информатики формируются общие представления о компьютерно-математических моделях и умение использовать их для анализа объектов и процессов, а именно: «... формулировать цель моделирования, выполнять анализ результатов, полученных в ходе моделирования; оценивать адекватность модели моделируемому

объекту или процессу; представлять результаты моделирования в наглядном виде». На *углубленном уровне* освоения курса информатики учащиеся приобретают начальные знания по методологии компьютерного моделирования и осваивают практику самостоятельного создания компьютерных моделей [151].

Что касается подключения других школьных предметов к обучению компьютерному моделированию, то, как показал анализ определяемого ФГОС содержания подготовки школьников по естествознанию (*физике, химии, биологии, астрономии*), компьютерное моделирование не представлено в системе требований к осваиваемым в этой области знания методам познания. Однако в разделе Стандарта, касающегося характеристики метапредметных результатов освоения программы средней школы, отмечается, что эти результаты должны отражать: «... способность и готовность учащихся к самостоятельному поиску методов решения практических задач, применению различных методов познания; ... умение использовать средства информационных и коммуникационных технологий в решении когнитивных, коммуникативных и организационных задач ...» [151]. Является ли в таком случае метод компьютерного моделирования объектом метапредметного обобщения? Очевидно, что «замкнутый» рамками курса школьной информатики он не может быть таким объектом. Требуемый уровень метапредметной подготовки школьников в освоении компьютерного моделирования обеспечивается только при условии его применения в комплексе предметов естественнонаучного цикла.

Включению компьютерного моделирования в предметное обучение, в частности в учебный процесс по физике, и организации преподавания на обновленной методологической основе должно предшествовать: 1) определение места компьютерного моделирования в учебном процессе по предмету; 2) анализ практики его применения в учебной деятельности школьников; 3) выявление и решение актуальных научно-методических проблем проектирования и организации учебного процесса по предмету с применением данного метода.

1. Место компьютерного моделирования в учебном процессе по физике. На настоящем этапе в основном разработаны содержание и мето-

дика обучения школьников компьютерному моделированию в рамках учебного курса информатики. Это подтверждается достаточным числом диссертационных исследований и научно-методических публикаций, подготовленных в данном направлении (И. В. Галыгина, 2001; Н. А. Пахомова, 2001; О. А. Тарасова, 2005; Ю. Ф. Титова, 2002; А. П. Шестаков, 1999; М. И. Шутикова, 2000 и др.). Основные теоретические сведения, информация по технологии разработки компьютерных моделей для их последующего исследования, а также примеры решения прикладных задач средствами компьютерного моделирования представлены в современных учебниках по информатике для средней школы [126, 109, 110]. Компьютерное моделирование рассматривается авторами учебников и учебных пособий по информатике преимущественно как *объект познания*. Основное внимание уделяется изучению процедур построения моделей и технологий их программной реализации.

В предметном обучении в средней школе, в частности при обучении физике, компьютерному моделированию внимание практически не уделяется. Начала компьютерного моделирования физических процессов осваиваются заинтересованными школьниками в основном в системе дополнительного образования, реже в рамках курсов внеурочной деятельности для учащихся, изучающих физику на углубленном уровне. Представляется важным включение компьютерного моделирования в основной курс физики (как базовый, так и профильный), в котором с достаточной глубиной и детализацией должен обсуждаться статус КС как *метода познания*, а именно: а) его место в системе методов научного поиска, б) инструментальные и познавательные функции, в) особенности их реализации в решении задач предметной области. Внимание должно уделяться всем этапам компьютерного моделирования. Необходимыми для рассмотрения являются не только процедура создания компьютерной симуляции (КС), но и особенности планирования на ее основе вычислительного эксперимента, анализ его результатов, их систематизация и обобщение, формулировка выводов. Выводы не могут ограничиваться только оценкой качества компьютерных технологий реализации КС. Они должны соот-

носиться с предметом исследования – физическими явлениями (свойствами объектов и их систем, особенностями процессов их существования и развития).

Очевидно, что освоение учащимися средней школы начального опыта решения физических задач с применением компьютерного моделирования базируется на достаточно высоком уровне знаний по математике, информатике, физике и их осмысленной интеграции. Решение таких задач доступно преимущественно учащимся *профильных классов*. Для школьников, обучающихся информатике и другим учебным предметам на *базовом уровне*, цели учебной деятельности в области компьютерного моделирования иные. Согласно Стандарту в курсе информатики у них формируются лишь общие представления о данном методе познания и осваивается умение работать с «готовыми» моделями объектов или процессов [151]. В этой связи в научно-методическом плане для организации учебного процесса по физике является важным определение *содержания этих представлений, общей логики, методов и средств их формирования*, а также разработки *методики и технологии работы учащихся с «готовыми» компьютерными моделями* как инструментом познания.

Следует констатировать, что в научно-методических исследованиях, как и в работах по основам общей методологии компьютерного моделирования, просматриваются два подхода к анализу данного метода («*problem-solving viewpoint*» и «*behavior viewpoint*»). Чаще, к сожалению, акцент ставится на его «*проблеморешающих*» функциях (построении алгоритма расчета модели и его реализация на компьютере). Лишь в отдельных методических публикациях и учебных пособиях по физике для средней школы авторы обращают внимание на потенциал компьютерных симуляций как метода познания и приводят примеры, демонстрирующие его прогностические и эвристические возможности (Д. В. Баяндин, О. И. Мухин [28], С. М. Козел [70], А. С. Кондратьев, А. В. Ляпцев [73], А. В. Никитин [96], М. И. Старовиков [136] и др.). Следует отметить, что комплексная реализация при обучении физике инструментальной и конструктивной (познавательной) функций КС пока не обеспечена в массовой практике обучения школьников с достаточной полнотой.

Компьютерное моделирование в учебном процессе может использоваться не только как *объект* и *метод* познания. На этапе работы с уже созданной («готовой») моделью оно применимо еще и как *средство обучения*. Применение КС в этом качестве обусловлено рядом их важных свойств.

Во-первых, наличием у них репрезентативных функций, т.е. возможностью опосредованного представления (через подобие, в том числе знаково-символическое) образов («первообразов») исследуемых материальных или идеальных объектов их свойств, отношений и происходящих с ними процессов. Используемые в КС инструменты репрезентации (таблицы, графики, изолинии, диаграммы, графы, 2D и 3D-модели объектов, анимация и др.), обеспечивая визуализацию результатов моделирования, являются принципиально важными для обучения средствами наглядности.

Во-вторых, в интерфейсе любой КС заложены элементы, реализующие диалог «исследователь ↔ компьютер», что позволяет оперативно управлять ходом компьютерного эксперимента. Помимо этого диалоговый интерфейс КС может быть использован как эффективное средство активизации познавательной деятельности и целенаправленного формирования у учащихся соответствующих познавательных умений.

В-третьих, учебные КС могут быть целенаправленно «оснащены» дополнительными дидактическими функциями. Спектр таких функций достаточно широк, поскольку компьютерные модели в их обобщенной трактовке – это фактически *средство передачи (трансляции) социального опыта* – знаний и способов деятельности, «архивированных» в их структуре. В этой связи представляют интерес анализ видов КС и вопросы проектирования их «*дидактической атрибутики*». Уточнение дидактических функций учебных компьютерных симуляций – важная научно-методическая проблема исследования теории и практики их разработки и применения в обучении физике. Состав дидактических функций КС, разработанный в настоящем исследовании, представлен в п. 1.2.2 (с. 45–48), а также дополнительно на примере компьютерных симуляций учебного физического эксперимента в п. 1.3.2 (с.71–77).

Итак, компьютерное моделирование в учебном процессе по физике должно быть представлено т р и а д о й : 1) КС как *объект познания* (конкретизация и совершенствование средствами учебного предмета знаний и умений учащихся в области технологий компьютерного моделирования, приобретенных в курсе информатики); 2) КС как *метод познания* (освоение учащимися начального опыта проектирования и применения КС как инструмента познания в решении задач предметной области; 3) КС как *средство обучения* (использование с целью трансляции предметных знаний и опыта деятельности; совершенствование подготовки учащихся по предмету за счет применения в обучении «готовых» компьютерных симуляций, оснащенных базовым методологическим и дидактическим функционалом). Для каждого уровня подготовки учащихся (базового, профильного) реализация данной триады свойств КС имеет свои особенности в отношении содержания, методов и средств обучения. Этот вопрос рассматривается в п. 1.2.3. настоящей работы (с. 50–55)

2. Анализ практики применения в обучении физике компьютерного моделирования как метода познания. Компьютерное моделирование как всякий метод научного поиска при его применении в обучении приобретает статус учебного и имеет для каждого уровня образования соответствующий ему методологический и дидактический «выходы». Рассмотрим позиции исследователей относительно практики применения данного метода в обучении физике в историческом контексте их развития.

Этапы внедрения средств ИКТ в систему общего среднего образования за последние три десятилетия, включая разработку и применение в предметном обучении компьютерных симуляций рассматриваются в нашей статье [8]. Первые *учебные компьютерные симуляции* появились в отечественном образовании в 90-х гг. прошлого столетия (С. М. Козел [70], Е. И. Бутиков [40], О. И. Мухин, Д. В. Баяндин (и др.) [27], А. С. Чирцов [163]) и были предназначены для демонстраций физических явлений, в том числе тех, которые невозможно было показать в ходе лекционных занятий в вузе или в школьной лаборатории. Следом стали создаваться *интерактивные КС*, что позволяло

выстраивать работу обучающихся с данным средством наглядности более эффективно и вовлекать их в процесс более глубокого изучения явлений. Тем не менее, «объяснительно-дескриптивное» (по определению В. А. Стародубцева [138]) понимание роли КС в обучении физике было достаточно устойчивым и надолго закрепилось как приоритетное в педагогической практике.

Позднее в первом десятилетии 2000-х гг. началась разработка симуляций нового типа – *модельных конструкторов*, в которых можно было изменять не только значения параметров моделируемой системы, но и состав ее объектов, а также конструировать из готовых элементов новые модели (без программирования) [21, 162]. Наиболее ярко это направление разработки КС было представлено в ресурсах «Живая физика» (2002) [55] и «Виртуальная физика» (1998–2005) [23, с. 41], Electronics Workbench (программа для моделирования аналоговых и цифровых электронных устройств, 1996–2005) [42] и др. Конструирование моделей из готовых элементов открывало значительные перспективы в организации исследовательской работы учащихся. Но, к сожалению, в массовой школьной практике «режим конструирования» оказался «непопулярным», поскольку требовал от учителя серьезной методической подготовки и дополнительных временных затрат на разработку конкретных лабораторных заданий, доступных для выполнения учащимися. Востребованными стали в основном «готовые» КС. Но и в этом варианте уровень применения КС по физике как метода познания оставался невысоким.

Проблемы современной практики применения в обучении физике компьютерного моделирования обсуждаются в научно-методических публикациях и диссертационных педагогических исследованиях. Анализ работ, выполненных в этом направлении, позволяет сделать следующие выводы.

1. На настоящем этапе необходимость включения компьютерного моделирования в учебный процесс по физике с целью его освоения обучающимися как метода познания не вызывает возражений. Авторами обсуждается содержание и методика обучения компьютерному моделированию применительно к разным уровням образования. При этом существенно различия в проводимых

исследованиях расстановка акцентов в отношении инструментальной и познавательной функций данного метода.

2. Основная часть научно-методических публикаций и учебных пособий по компьютерному моделированию ориентирована на обучение студентов технических вузов. Подготовке студентов педагогических специальностей посвящено существенно меньше исследований (С. Е. Попов [111], Д. Ф. Терегулов [142], А. В. Ляпцев, А. С. Тюканов [86]). Имеются учебные пособия по данному направлению для школьников *профильных классов* (А. С. Кондратьев, А. В. Ляпцев [73]; А. В. Сорокин, Н. Г. Торгашина, Е. А. Ходос, А. С. Чиганов [131]; А. В. Никитин, А. И. Слободянюк, М. Л. Шишаков [96]). Содержание этих пособий, как правило, связано с организацией спецкурсов или факультативов по физике, а также с выполнением учащимися индивидуальных исследовательских проектов. Проблемы включения компьютерного моделирования в основной курс физики и исследования особенностей освоения учащимися данного метода на базовом и профильном уровнях обучения остаются пока недостаточно разработанными. Традиционно учителя физики ограничиваются применением на занятиях «готовых» КС, которые используются преимущественно как средство наглядности или в качестве тренажеров. Внимание к их методологическим функциям весьма ограничено.

3. Обозначена и решается задача уточнения обобщенной структуры данного метода и ее возможных конкретизаций для применения в вузе (О. И. Бабина [18], Р. В. Майер [87], Р. Ф. Маликов [89], С. Е. Попов [111] и др.) и в средней школе (Р. В. Бирих [35], А. С. Кондратьев, А. А. Финагин [74], А. В. Никитин [96], К. Ю. Поляков, Е. А. Еремин [109, 110], И. Г. Семакин, Е. К. Хеннер, Л. В. Шестакова [126], М. И. Старовиков [136] и др.). Наибольшее внимание в научно-методических работах уделяется при этом следующим этапам компьютерного моделирования: 1) разработке математической модели исследуемого объекта; 2) реализации алгоритмов решения модели на компьютере с помощью различных инструментальных средств; 3) соотнесению результатов компьютерного и физического экспериментов, организация с этой целью «гиб-

ридных» практикумов, включающих компьютерное моделирование и традиционные лабораторные работы. Этап проведения вычислительного эксперимента (его планирование, выполнение и анализ результатов) при всей его значимости в общей процедуре компьютерного моделирования практически не обсуждается. Это существенное упущение, поскольку важно, как отмечает В. А. Стародубцев, чтобы в ходе компьютерного эксперимента за моделирующей программой учащийся видел исследуемое физическое явление, а модель этого явления в процессе ее исследования стала для него источником новых знаний [138].

4. В настоящем исследовании выявлены и систематизированы причины основных затруднений, касающихся внедрения данного метода в учебный процесс по физике в средней школе, а также факторы, снижающие результативность его применения в обучении: а) объективная сложность компьютерного моделирования как метода познания, необходимость для его применения интеграции знаний по разным учебным предметам; б) отсутствие у учащихся в большинстве случаев необходимой глубины в освоении курса физики, а также несоответствие уровня их компетенций в области математики и информационных технологий сложности задач разработки и реализации на компьютере математических моделей физических явлений; в) недостаточный уровень межпредметных связей предметов математического цикла и информатики, с одной стороны, и курса физики как области применения компьютерного моделирования – с другой; г) трудности в освоении учащимися инструментальной составляющей компьютерного моделирования для его применения в решении учебно-исследовательских задач разного уровня сложности; отставание в разработке и невысокий уровень доступности для использования в обучении предметных моделирующих сред, адаптированных под школьные учебные задачи и включающих «готовые» модели, а также их конструкторы для проектирования и проведения учащимися компьютерных экспериментов; д) неразработанность концептуальной модели, методики и технологии включения компьютерного моделирования как метода познания в учебный процесс по физике в средней школе (на базовом и профильном уровнях), наличие лишь отдельных методи-

ческих решений применения КС в обучении; е) недостаточность учебных материалов для базовой и углубленной подготовки учащихся к применению компьютерного моделирования в предметной области знаний (учебных заданий, инструктивных материалов к их выполнению, примеров поэтапной реализации данного метода в решении прикладных физических задач) и методических материалов для учителя физики; ж) недооценка учителями физики методологической значимости компьютерного моделирования [111, 96, 138 и др.], ориентация на использование преимущественно дидактических возможностей КС; з) отсутствие у практикующих учителей необходимого уровня подготовки в области проектирования практики применения КС в обучении физике; недостаточное внимание к решению данной проблемы в период обучения будущих учителей в педагогическом вузе.

3. Актуальные научно-методические задачи проектирования и реализации практики применения компьютерного моделирования в учебном процессе по физике. Комплексный анализ проблемы применения в обучении физике компьютерного моделирования как метода познания, определяет необходимость решения ряда научно-методических задач. В настоящем исследовании внимание сосредоточено на решении следующих из них: 1) уточнение *обобщенной структуры КС* и содержания ее основных этапов; выявление тех элементов данной структуры, которые доступны для освоения учащимися на базовом и профильном уровнях их предметной подготовки; 2) анализ *методологических функций КС* и определение тех из них, которые можно реализовать на практике с достаточной результативностью; 3) выявление *целесообразной «дидактической атрибутики»* «готовых» компьютерных симуляций и их конструкторов, обеспечивающей наряду с освоением начал методологии компьютерного моделирования совершенствование процессов усвоения основ физики; 4) определение *стратегии освоения учащимися компьютерного моделирования как метода познания* при изучении основ наук (построение модели обучения); 5) разработка содержания и методики подготовки будущих учителей физики к проектированию учебного процесса, связанного с применением

КС как метода познания, формирования у них профессиональной компетенции в данной области педагогической практики.

Продвижение в решении первой задачи позволит уточнить *состав основных умений*, которыми должны овладеть учащиеся в области компьютерного моделирования физических процессов, определить содержание обобщенных ориентиров выполнения данной деятельности и возможные уровни ее освоения учащимися разных профилей обучения. Анализ второй и третьей задач связан с объективацией *системы тактических целей обучения* компьютерному моделированию и поиском средств их достижения в рамках отдельных учебных занятий. Решение четвертой задачи направлено на построение *общей модели организации учебного процесса по предмету*, ориентированной на освоение учащимися обновленной системы методов учебного познания, дополненной компьютерным моделированием. Результаты решения указанных задач составят основу разработки содержания профессиональной подготовки будущих учителей физики к применению компьютерного моделирования в предметном обучении.

1.2. Научно-методические основы применения компьютерных симуляций в учебном процессе по физике

1.2.1. Структура компьютерной симуляции как метода учебного исследования

Этапы компьютерного моделирования являются объектом анализа во многих публикациях, посвященных данному методу познания.

В первую очередь внимание следует обратить на подходы к решению этого вопроса авторов учебников и учебных пособий. В *приложении 1* (1.1, с. 207) представлена структура компьютерного моделирования в интерпретации авторов ряда наиболее популярных учебников и учебных пособий для средней школы [96, 109, 110, 126]. Предложенные решения при их принципиальном сходстве, тем не менее, существенно отличаются. Указывается разное число основных этапов компьютерного моделирования (от 4 до 7), различна

и структура данных этапов, в том числе степень их детализации. При этом, что важно отметить, этап проведения компьютерного эксперимента не обсуждается и не раскрывается практически ни одним коллективом авторов.

Вопрос о структуре компьютерного моделирования рассматривается в учебной литературе для высшей школы, обсуждается в научных и научно-методических работах [34, 47, 63, 74, 87, 111, 154 и др.]. Позиции ряда авторов по этому вопросу приведены в *приложении 1* (1.1, табл. 16, 17, с. 208–209). При единстве общего понимания сути данного метода авторами и этой профессиональной группы по-разному расставляются акценты в попытке определить состав его основных этапов, а также подэтапов, их образующих.

Поиск обобщенной структуры КС следует выполнять, на наш взгляд, на основе системного подхода и исходя, прежде всего, из принципа строгой иерархичности действий, составляющих процедуру применения данного метода. Ниже приведена разработанная в рамках настоящего исследования обобщенная структура компьютерного моделирования в его адаптированной (учебной) версии (*табл.1*). Определена подструктура этапов КС. К каждому этапу подготовлен базовый комментарий, ориентирующий обучающихся в направлениях самостоятельного изучения его содержания. Комментарий к этапам реализации метода представлен в *приложении 1* (1.2, с. 210–228).

Таблица 1

**Обобщенная структура компьютерного моделирования
как метода исследования**

1. Анализ проблемы и постановка задачи исследования явления (объекта, процесса)	
1.1.	Изучение физического явления (объекта, процесса): <i>сбор информации о явлении из различных источников, в том числе включающих данные экспериментальных исследований; анализ, систематизация и обобщение имеющейся информации</i>
1.2.	<i>Формулировка вопросов, которые интересуют исследователя (содержательная постановка задачи).</i>
1.3.	<i>Выдвижение гипотез о свойствах и законах протекания исследуемого явления (поведения объекта, развития процесса), его возможных откликах на воздействия окружающей среды, структуре, «механизмах» существования и развития.</i>
1.4.	<i>Построение на основе выдвинутых предположений физической модели явления (концептуальная постановка задачи):</i> а) уточнение параметров, описывающих явление (структуру, свойства, состояние объекта или процесса) и характеризующих внешние воздействия на него;

	б) определение <i>законов</i> , связывающих данные параметры; в) выбор <i>физического приближения</i> изучаемого явления: отбор и ранжирование учитываемых в модели параметров, введение допущений; г) формулировка в <i>физических терминах вопросов</i> , интересующих исследователя.
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> .
2.2.	Постановка <i>прикладной математической задачи</i> (дополнение формализованной математической модели <i>начальными и граничными условиями</i>).
2.3.	<i>Качественный анализ математической задачи</i> , проверка ее корректности.
3. Составления 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 расчетов</i>
4.2.	<i>Программная реализация заданной формы представления результатов моделирования</i> (числом, таблицей, диаграммой, графиком, анимацией и др.).
4.3.	Программирование <i>пользовательского интерфейса КЭ</i> (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 ее 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.	<p>Реализация <i>первого этапа</i> КЭ: выполнение расчетов в соответствии с поставленной задачей в рамках одной вычислительной модели (исследование, прогнозирование или управление, включая оптимизацию):</p> <p>а) <i>исследование</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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);
	<p>б) <i>прогнозирование</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> – неизвестных параметров физического явления в заданных условиях; – структуры объекта и определяющих ее связей, их изменения при смене внешних условий; – причинно-следственных связей (динамических, вероятностных), функциональных и др.; – поведения объекта (системы) при различных внешних воздействиях; – комплексное прогнозирование;
	<p>в) <i>управление, включая оптимизацию</i>: поиск значений входных параметров для получения объекта или системы с нужными характеристиками в заданном состоянии.</p>
5.2.	<p><i>Анализ решения поставленной задачи</i> по результатам первого этапа КЭ:</p> <p>а) сравнение с известными данными физического эксперимента (с целью подтверждения теоретической гипотезы, проверки корректности аппроксимационной модели, результатов прогнозирования или оптимизационных решений);</p> <p>б) оценка точности результатов моделирования и соответствия по точности входных и выходных параметров модели.</p>
5.3.	Фиксация (при наличии) ранее непредусмотренных эффектов моделирования.
5.4.	<p>Организация <i>второго этапа</i> исследования – изучение иерархической цепочки компьютерных моделей, отражающей эволюцию математической модели и методов ее расчета в последовательных циклах:</p> <p>а) <i>уточнение</i> модели в последовательных циклах вычислительного эксперимента с целью проверки (тестирования) вычислительных алгоритмов приближенного решения полной задачи;</p> <p>б) <i>усложнение</i> модели с целью качественного исследования полной задачи и соответственно изучения на основе модели реального объекта.</p>
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</i> выявленных (ранее непредусмотренных) эффектов 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.

Приведенная обобщенная структура КС в значительной части представленной в ней элементов является инвариантной к содержанию предметных областей применения данного метода. Исключение составляет подструктура первого элемента (анализ проблемы и постановка задачи исследования), связанная с содержанием физики как предметной области исследования.

В структуре метода отражено содержание межпредметных связей курсов физики, математики, информатики. Действия и операции, освоенные учащимися на занятиях по математике и информатике (инструментальная подготовка в области компьютерного моделирования), закрепляются и совершенствуются в решении прикладных задач по физике. Структурные элементы метода являются основанием для определения учителем основных целей процессуальной подготовки учащихся. Данные цели и методы их достижения дифференцируются учителем в зависимости от профиля предметной подготовки (базовый, углубленный). В обобщенной структуре компьютерного моделирования обозначено не только его инструментальное, но и конструктивное назначение, что обеспечивает осознание учащимися научной значимости данного метода исследования физических явлений.

1.2.2. Методологические и дидактические функции учебной компьютерной симуляции

Анализ структуры и содержания компьютерного моделирования, а также практики его применения в области фундаментальной и прикладной физики являются основанием для выявления основных функций данного метода познания. В настоящем исследовании предложено решение данной задачи.

Методологические функции КС. Как любой метод научного познания компьютерная симуляция обладает следующими функциями: 1) *гносеологической*: обеспечение научного познания, результатом которого является приобретение ранее неизвестных знаний об объекте исследования (его структуре, свойствах, законах развития и взаимодействия): а) *прогностической* – получение на основе численного расчета модели «выводного» знания: зна-

чений различных характеристик объекта (том числе связанных с его эволюцией), закономерных связей его функционирования и развития; б) *эвристической* – применение в ситуации, в которой не гарантировано "автоматическое" получение истины, но при этом существенно сужается поле научного поиска, «угадывается» его верное направление, облегчается процесс исследования, а мышление становится системным и целенаправленным (что характерно преимущественно для имитационных моделей) [81]; 2) *интегрирующей* : объединение и применение в комплексе методов и технологий исследования, применяемых: а) на разных уровнях познания (эмпирическом, теоретическом); б) в разных областях научного знания, а также в разных разделах изучаемой области предметного знания; 3) *регулятивной* : упорядочивание познавательного процесса.

В рамках настоящего исследования раскрыты составляющие указанных функций компьютерной симуляции как метода познания.

Гносеологические функции

1. *Продуцирование* (средствами прогнозирования или эвристики) *новых знаний разного научного и научно-технического статуса*:

1.1. Численных характеристик объекта исследования.

1.2. Закономерных связей исследуемых явлений, в том числе атрибутивных, структурных, причинно-следственных (*динамических, вероятностных*), функциональных, выявленных на основе систематизации и обобщения данных КВЭ.

1.3. Теоретических гипотез относительно сущности («механизма») изучаемых явлений, в том числе результатов мысленных экспериментов, составляющих основание данных гипотез.

1.4. Характеристик разных режимов функционирования исследуемых систем, в том числе технических.

2. *Реализация уникального потенциала инструментальной составляющей метода.*

2.1. Достижение результата в ситуациях, когда аналитическое решение поставленной задачи невозможно или затруднительно.

2.2. Уточнение и усложнение модели в последовательных циклах вычислительного эксперимента с целью решения поставленной задачи (*многомодельность* КВЭ).

2.3. Многократное повторение компьютерного эксперимента с варьированием условий и характеристик исследуемого явления с целью формирования необходимого объема данных для их последующей статистической обработки, систематизации и обобщения (*многовариантность* КВЭ).

2.4. Высокая информативность КВЭ, включая различные уровни детализация результатов исследования:

- (1) определение численных значений всех представляющих интерес параметров поведения модели с требуемой точностью;
- (2) произвольное изменение (расширение) границ численных значений условий проведения КВЭ и характеристик исследуемых объектов и процессов;
- (3) изучение влияния на исследуемое явление каждого из факторов по отдельности, в то время как в реалиях они действуют одновременно;
- (4) отслеживание функционирования исследуемого объекта на качественном и количественном уровнях, включая его эволюцию с применением масштабирования в пространстве и по времени (т.е. изучение процесса в замедленном или ускоренном режимах, а также с малыми изменениями исследуемых характеристик);
- (5) репрезентация разными способами результатов моделирования (таблица, график, изолиния, диаграмма, 2D- и 3D-графика, анимация и др.), обеспечивающая их более полный и глубокий анализ, а также последующую интерпретацию.

2.5. Реализация системного анализа сложных объектов исследования средствами *системного моделирования*, обеспечивающего:

- (1) выявление особенностей поведения и свойств сложных систем (структуры, динамики изменений, устойчивости, целостности и др.), синергетических эффектов в их развитии;
- (2) прогнозирование прямых и косвенных последствий различных способов воздействия на сложную систему;
- (3) оценку управляющих воздействий на сложную систему и их сочетаний для получения требуемых результатов ее поведения в заданных условиях.

2.6. Постановка и решение задачи аппроксимации, которая возникает в ряде случаев при обработке результатов эксперимента, а именно: подбор математической модели изучаемого процесса (построение его приближенного аналитического описания).

2.7. «Замещение» физического эксперимента в случаях, когда провести реальный эксперимент в лаборатории невозможно или затруднительно:

- (1) высокая сложность установки и ее настройки, а также отсутствие стабильности (безопасности) в работе;
- (2) применение дорогостоящего или уязвимого оборудования;
- (3) сокращение временных затрат на выполнение экспериментального исследования.

2.8. Применение в решении поставленных задач систем компьютерной математики и имитационного моделирования, интерактивных сред для моделирования и анализа широкого класса динамических систем, включая технические системы.

Интегрирующая функция

3. *Реализация связи с эмпирическим и теоретическим уровнями исследования* (как следствие «гибридного» характера данного метода).

3.1. Взаимосвязь КС с физическим экспериментом:

- (1) как источником количественных данных (значений входных параметров), необходимых для планирования компьютерного эксперимента;

- (2) как источником данных для тестирования и/или последующей корректировки модели исследуемого объекта;
- (3) как средством проверки (критерием истинности) гипотез, выдвинутых в ходе моделирования.

3.2. Взаимосвязь с теоретическим исследованием:

- (1) КВЭ строится на основе известной теоретической концепции с целью ее дальнейшего исследования (развития, получения / уточнения следствий для последующей их проверки в физическом эксперименте);
- (2) КВЭ проводится с моделью мысленного эксперимента как средства проверки ключевой идеи научной теории;
- (3) КВЭ используется с целью детализации описания явления, определения (уточнения) его математической модели как основания для построения теории.

4. *Применение во взаимосвязи методов и технологий исследования, применяемых в разных областях научного и научно-технического знания, а именно: в области предметного знания исследуемой проблемы (физики), с одной стороны, в области математики, информатики, а также общей и специальной методологии науки – с другой.*

Регулятивные функции

5. *Ориентация на широкое поле объектов исследования.* Возможность изучения явлений (объектов, процессов) разных видов, в том числе тех, которые затруднительно, нецелесообразно или невозможно воспроизвести в лабораторных условиях:

- 5.1. Явлений разной (любой) природы.
- 5.2. Уникальных явлений (феноменов).
- 5.3. Явлений прошлого и будущего.
- 5.4. Мега- и микрообъектов и процессов.
- 5.5. Явлений в динамике их развития в пространстве и времени.
- 5.6. Явлений в их «чистом» виде с точным воспроизведением требуемых условий протекания.

5.7. Систем, отличающихся наличием неполных исходных данных.

5.8. Сложных природных систем и процессов, в том числе стохастических (их внутренней структуры, особенностей эволюции, изменений вследствие внешних воздействий).

5.9. Сложных технических устройств (в том числе установок для научного эксперимента) с целью исследования режимов их функционирования, оценки возможных негативных следствий работы.

6. Наличие инвариантной обобщенной структуры метода как ориентировочной основы деятельности в исследования физических процессов.

7. Формирование банка апробированных компьютерных моделей разнообразных видов, разработанных на основе разных численных методов и алгоритмов их реализации, и возможность их последующего выбора и применения в решении новых исследовательских задач.

8. Универсальность базовых технологий его реализации при решении исследовательских задач в любой предметной области знания.

Разработанный комплекс функций КС включает инструментальную и конструктивную составляющие данного метода. Уровень осмысления и освоения учащимися средней школы каждой из функций различен, начиная с формирования начальных представлений и заканчивая первичным опытом их реализации в решении учебно-исследовательских и прикладных физических задач.

Дидактические функции КС. Компьютерная симуляция физических явлений, как отмечалось, может рассматриваться не только как метод познания. На этапе работы с уже созданной («готовой») компьютерной симуляцией данный метод демонстрирует свою полезность и как средство обучения. Дидактический функционал «готовой» КС зависит от ее вида. Видовой состав КС разнообразен. Одной из первых классификаций учебных КС по физике является классификация, предложенная Н. А. Оспенниковым (2007) [101]. В нашем исследовании состав оснований данной классификации дополнен. Уточнен и видовой состав симуляций в их отдельных группах (п. 2.1.3, с. 118–119).

Средствами компьютерного моделирования могут быть представлены разные элементы предметного знания, а также различные учебные действия и операции. В связи с этим дидактический эффект применения «готовых» КС в обучении физике достаточно высок. Важную роль при этом играет технологии компьютерной визуализации. Визуальные образы КС содержат информацию о внешних признаках исследуемых явлений, средствами анимации демонстрируется эволюция физических объектов и процессов, в том числе с учетом внешних факторов воздействия. Возможны визуализация явлений, которые недоступны для непосредственного восприятия в физическом эксперименте (мега- и микрообъекты, быстротекущие или чрезмерно медленные процессы), отображение идеализированных объектов физических теорий, создание наглядных образов абстрактных физических понятий. В случае исследования особенностей работы какого-либо технического объекта в компьютерной симуляции используется процедурная визуализация его функций.

Благодаря наличию у компьютерных симуляций встроенного обучающего функционала обеспечивается возможность их применения как средства формирования у учащихся познавательных и практических умений. Значимый дидактический эффект имеет визуально реалистичная имитация действий и операций («диалога») учащегося с моделью. Могут быть реализованы соответствующие реалиям способы ввода информации, например, через манипуляции с элементами модели (перемещение, бросок, вращение и пр.), выбор и использование различных способов фиксирования и обработки результатов моделирования (таблиц, графиков, диаграмм и пр.). Возможно обеспечение на программном уровне текущей и итоговой диагностики выполняемых учащимися действий с последующим визуальным отображением ее результатов и оказанием необходимой помощи для их корректировки. В этом собственно и проявляется дидактическое назначение учебных КС.

Следует признать, что заметная часть учебных КС не предназначена для их использования в качестве метода исследования и реализует лишь дидактиче-

ские функции. Учителя физики, как правило, проявляют к таким моделям большой интерес и активно используют их в учебном процессе.

Проектирование и реализация дидактических функций КС является сложной научно-методической задачей, требующей от разработчиков профессиональной подготовки. Необходимой ориентировкой в решении этой задачи являются представления о составе этих функций. Данный вопрос рассматривается в работах Е. В. Оспенниковой [104, с. 337–338] и Д. В. Баяндина [23]. Предложенный авторами состав функций в настоящем исследовании взят за основу и в систематизированном и уточненном варианте приведен ниже.

Компьютерные модели объектов и процессов, изучаемых в курсе физики средней школы, могут использоваться:

1) как средство наглядности, сопровождающее традиционные способы предъявления «готового» знания:

- *концептуального*:
 - при изучении содержания и результатов научных экспериментов (*научных фактов*);
 - для иллюстрации содержания *эмпирических понятий*;
 - при анализе *эмпирических закономерностей* протекания природных явлений;
 - при рассмотрении компонентов теоретического знания (*идеализированных объектов теории, теоретических понятий, принципов и постулатов, следствий теории, мысленных экспериментов*);
 - при изучении элементов научно-технического знания (*устройства и принципа действия технических объектов и их взаимосвязанных систем, способов и приемов работы с техническими устройствами*);
- *процессуального* (иллюстрация содержания, порядка и правил выполнения тех или иных познавательных и практических действий и операций);

2) как средство самостоятельного освоения учащимися элементов «готового» предметного знания (*эмпирического и теоретического, концептуаль-*

ного и процессуального):

- в ходе работы с компьютерной моделью физического опыта (наблюдения, эксперимента) с целью:

- изучения информации о внешних признаках явлений природы (объектов, процессов);

- приобретения знаний (в форме прогноза) об особенностях протекания исследуемого явления, его закономерностях;

- при изучении на модели элементов физической теории:

- ее идеализированного объекта,

- подходов к построению ее уравнений,

- следствий теории (поведения системы в конкретных условиях);

- при работе с моделями технических объектов с целью изучения их устройства и принципа действия, функциональных особенностей и режимов работы, способов управления объектами;

3) как тренажер (средство отработки у учащихся отдельных познавательных и практических умений, формирования навыков);

4) как средство контроля уровня сформированности знаний и умений учащихся по предмету.

Как видно, дидактический потенциал учебных КС не ограничивается только их иллюстративными свойствами. Дидактически «оснащенные» компьютерные симуляции могут использоваться и для организации самостоятельной работы учащихся. Следствием этого является присвоение «готового» знания в форме «прогнозов» модели, а также формирование у обучаемых целого ряда познавательных и практических умений. Эти процессы обеспечиваются дидактическими материалами, включающими задания и инструктивные указания к самостоятельной работе учащихся с компьютерными симуляциями.

Наибольшую ценность представляют учебные КС, обладающие в комплексе как методологическим, так и дидактическим функционалом. Наиболее удачный вариант разработки таких симуляций создан авторским коллективом под руководством О.И. Мухина и Д.В. Баяндина в виде ресурса «Виртуальная

физика» (Пермь, ПНИПУ) [43]. Представляют интерес в этом плане такие ресурсы как образовательный комплекс по физике «*Увлекательная реальность*» (АО «Эволента») [100], «*Виртуальные лаборатории для общего, профессионального и дополнительного образования (физика, химия, технология)*» (Российская компания Vizex) [44], «*Видеозадачник: от наблюдения к измерению*» (А.И. Скворцов, А.И. Фишман, Казанский (Приволжский) федеральный университет) [128], Виртуальный лабораторный комплекс «*Физика средней школы*» (ООО НПП «Учтех-Профи») [45]

При рассмотрении учебных КС, обладающих комплексным функционалом, не может не возникнуть представление об их сложности как объектах разработки. Такие компьютерные симуляции представляют собой, как правило, многоуровневую систему взаимосвязанных моделей, каждая из которых имеет в своей основе соответствующее математическое и/или алгоритмическое описание. Данная система включает: 1) собственно модель физического явления (объекта или процесса); 2) модель деятельности учащихся по изучению (или исследованию) данного объекта (процесса); 3) модель управления учебной деятельностью, с учетом разных уровней ее самостоятельности. На основе КС с комплексным функционалом осуществляется и методологическая подготовка учащихся в области компьютерного моделирования, и решаются важные дидактические задачи, связанные с совершенствованием у них предметных знаний и умений. Такие модели обеспечивают возможность организации работы учащихся в разных познавательных направлениях и на разном уровне самостоятельности с учетом степени развития их ЗУН и СУД.

Представления об обобщенной структуре компьютерного моделирования как метода познания и видовом разнообразии «готовых» учебных КС, глубокое понимание их методологических и дидактических функций составляют основу успешного решения учителем задач их целенаправленного отбора для учебного процесса, а также определения основных целей и методики применения на занятии. Это важные составляющие содержания профессиональной подготовки будущих учителей физики в педагогическом вузе.

1.2.3. Модель освоения учащимися компьютерной симуляции как метода познания при изучении курса физики средней школы

Рассмотрим вопрос, касающийся определения стратегии включения компьютерного моделирования в учебный процесс по физике в средней школе.

Содержание обобщенной структуры КС (с. 37–40) демонстрирует сложность данного метода и его междисциплинарный характер, как с точки зрения теоретического осмысления, так и практического освоения. На рисунке 1 показан вклад каждого из трех школьных предметов (*физики, математики, информатики*) в реализацию основных этапов этого метода. Текущие номера действий в составе этапов обобщенного плана КС (п. 1.2.1) в ячейках каждой строки указывают на уровень межпредметного характера работы учащегося на соответствующих этим строкам этапах. Как видно, знание физики является важным на всех этапах компьютерного моделирования

Этапы КЭ	Физика	Математика	Информатика
1 (1.1–1.8)	1		
2 (2.1–2.3) →	2	→ 2	
3 (3.1–3.3)	3	3.1 3.2	3.3
4 (4.1–4.5) →	4.2 4.5	----- →	4
5 (5.1–5.3) →	5	→ 5.3	→ 5.3
6 (6.1–6.3)	6		

Рис. 1. Межпредметные связи в структуре компьютерного моделирования как метода познания

Для школьников, изучающих предметы естественно-математического цикла и информатику на базовом и профильном уровнях, степень освоения образующих КС действий и по составу, и по глубине проникновения в их содержание не является одинаковой. Для обучения каждой из этих групп учащихся по-разному расставляются акценты в реализации целевой образовательной триады компьютерного моделирования как *объекта* познания, *инструмента* познания и *средства* обучения. В *таблице 2* представлена модель освоения учащимися средней школы компьютерного моделирования в процессе

изучения курса физики. В модели отображены ключевые характеристики трех составляющих учебного процесса: *содержания, методов и средств* обучения. Доминирующие для каждой группы обучающихся характеристики указанных составляющих учебного процесса обозначены жирным шрифтом.

Учащиеся *профильного уровня* подготовки приобретают начальный опыт компьютерного моделирования физических процессов. Решается задача освоения в доступном для них варианте всех основных этапов данного метода исследования. При обучении на *базовом уровне* ставится задача формирования у школьников лишь общих представлений о данном методе и его применении в исследовании физических явлений. Основу решения этой задачи составляет учебная работа с «готовыми» учебными КС.

Таблица 2

**Модель освоения учащимися компьютерного моделирования
как метода познания**

УГЛУБЛЕННЫЙ УРОВЕНЬ	СОСТАВЛЯЮЩИЕ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ	БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ
Объект познания Метод познания Средство обучения	С о д е р ж а н и е <i>Компоненты образовательной триады КС</i>	Объект познания Метод познания Средство обучения
1 2 3 4 5 6	<i>Осваиваемые действия обобщенного плана КС</i>	1 2 3 (3.3) 4 (4.5) 5 (5.1, 5.2) 6
Репродуктивный Частично-поисковый Исследовательский	М е т о д ы <i>По уровню самостоятельности</i>	Репродуктивный Частично-поисковый Исследовательский
Учебные прикладные задачи для исследования «готовых» КС и полного цикла компьютерного моделирования	С р е д с т в а <i>Учебные кейсы</i>	Учебные задачи для самостоятельной работы с «готовыми» КС
Математические пакеты, среды и языки программирования	<i>Средства компьютерного моделирования</i>	Традиционные офисные пакеты (Excel и др.)
Готовые КС, в том числе их конструкторы		Готовые КС, в том числе простые конструкторы КС
Для организации самостоятельного учебного исследования	<i>Дидактические материалы</i>	Для организации самостоятельной работы с «готовыми» КС
Системная практика применения с целью приобретения начального опыта применения метода КС	Ф о р м ы Уроки разных типов. Лабораторные работы, практикумы Формы внеурочной деятельности	Системная практика применения с целью формирования представлений о методе КС

Представленная модель освоения компьютерного моделирования носит стратегический характер. При выборе методов и средств обучения на любом из уровней предметной подготовки (базовом, профильном) учителем не может быть проигнорирован индивидуальный подход к обучающимся, учитывающий их познавательные интересы и способности.

Разный уровень освоения компьютерного моделирования имеет своим следствием различную степень осознания учащимися его функций как метода познания, а также его назначения и перспектив применения в различных областях научных и прикладных исследований. При этом общие представления об этих функциях (п. 1.2.2, с. 40–45) должен получить каждый выпускник средней школы независимо от уровня освоения программы обучения.

Идея об уровневом подходе к организации работы учащихся с компьютерными симуляциями впервые была выдвинута Д. Б. Баяндиным [23, с.36]. Представляется целесообразным спроецировать данный подход на обобщенную структуру процесса компьютерного моделирования и раскрыть для каждого уровня состав и содержание осваиваемых учащимися этапов.

Первый уровень. Работа учащегося с «готовой» компьютерной симуляцией. Этапы самостоятельного проектирования и разработки КС отсутствуют. В структуре учебной деятельности представлены только такие этапы как: 1) анализ задачи исследования; 2) изучение структуры и функционала «готовой» КС, ее тестирование; 3) планирование и выполнение компьютерного эксперимента на основе «готовой» КС; сравнение полученных результатов с данными физического эксперимента; 4) анализ результатов моделирования, формулировка выводов.

Второй уровень. Работа с компьютерной симуляцией, созданной учащимся самостоятельно из базовых элементов учебного конструктора (неполный цикл компьютерного моделирования): 1) постановка задачи исследования; 2) построение компьютерной модели с применением учебного конструктора, ее тестирование; 3) выполнение компьютерного эксперимента; сравнение полученных результатов с данными физического эксперимента; корректировка при необходимости компьютерной симуляции средствами конструктора; 4) анализ результатов моделирования, формулировка выводов.

Третий уровень. Реализация учащимся полного цикла КС: 1) постановка задачи исследования; 2) разработка ее математической модели; 3) составление алгоритма решения задачи; 4) реализация алгоритма средствами какой-либо моделирующей среды или с использованием языков и систем про-

граммирования; тестирование компьютерной модели; 5) выполнение компьютерного эксперимента; сравнение полученных результатов с данными физического эксперимента; корректировка при необходимости математической модели явления, алгоритма и/или технологии его реализации; 6) анализ и интерпретация результатов моделирования, формулировка выводов.

Для базового уровня освоения основной образовательной программы характерна работа преимущественно на первом уровне. Второй уровень сложности работы может быть предложен (в рамках индивидуального подхода) тем учащимся этой группы, которые проявляют интерес и способности к данной деятельности. Третий уровень сложности работы соотносится с *углубленным изучением предметов* (физики, математики, информатики и ИКТ), знание которых необходимо для выполнения полного цикла компьютерного моделирования. При этом работу учащихся по полному циклу компьютерного моделирования на этом уровне целесообразно связывать с индивидуальными учебно-исследовательскими заданиями по физике, а также с внеурочной исследовательской и проектной деятельностью по предмету. Заинтересованным учащимся рекомендуется посещение в рамках внеурочной деятельности спецкурсов данной тематики. В ходе основного учебного процесса школьники данного уровня подготовки преимущественно работают с «готовыми» компьютерными моделями по физике и учебными модельными конструкторами.

В настоящем исследовании определен комплекс *типовых методических задач*, которые должен уметь решать будущий учитель физики в ходе реализации рассмотренной выше модели освоения учащимся средней школы компьютерной симуляции как метода познания. К ним относятся:

1) отбор для учебного процесса по предмету «готовых» КС: а) обеспечивающих их видовое разнообразие (*прил. 1 (1,3)*, с. 228); б) демонстрирующих наиболее ярко их методологические функции; в) обладающих разнообразным и качественным дидактическим функционалом;

2) включение «готовых» компьютерных симуляций в содержание изложения учебного материала по физике с целью: а) повышения качества его предъявления (наглядности, информативности) и последующего усвоения

за счет реализации *дидактических функций* КС; б) демонстрации разнообразия *методологических функций* КС;

3) обучение компьютерному моделированию физических процессов в рамках основного курса физики: а) демонстрация основных этапов компьютерного моделирования и базовых действий их образующих, формирование на этой основе обобщенных представлений о компьютерном моделировании как методе познания; б) организация учебной деятельности (репродуктивной, учебно-исследовательской), связанной с компьютерным моделированием физических процессов, формирование начальных практических умений в условиях реализации уровневого подхода к организации данной деятельности;

4) обучение компьютерному моделированию во внеурочной работе по физике при организации проектно-исследовательской деятельности учащихся;

5) разработка дидактических материалов для самостоятельной работы учащихся, связанной с компьютерным моделированием: а) информационных материалов; б) инструктивных материалов для самостоятельной работы (репродуктивный уровень учебной деятельности); в) дидактических материалов для организации учебно-исследовательской деятельности, включая предметные тематические кейсы учебных задач по компьютерному моделированию;

б) создание в рамках научно-методической работы авторских учебных компьютерных симуляций по физике, реализация в их содержании комплекса *методологических и дидактических функций*; разработка технологии применения авторских КС в учебном процессе по физике.

Последняя из задач носит интегральный характер, поскольку базируется на опыте решения серии предыдущих. Обучение будущих учителей физики разработке и применению в учебном процессе по предмету авторских КС может составить на заключительном этапе обучения в вузе основу их эффективной подготовки к *продуктивной профессиональной деятельности* в рассматриваемой области педагогической практики.

1.3. Учебный физический эксперимент как объект компьютерной симуляции

1.3.1. Назначение и виды учебной компьютерной симуляции физического эксперимента

В рамках настоящего исследования представляют интерес компьютерные модели, в которых объектом симуляции является учебный физический эксперимент (натурный, лабораторный).

Компьютерная симуляция *учебного физического эксперимента* (УФЭ) включает разработку интерактивной модели физического явления (объекта, процесса) и модели экспериментальной установки, на которой это явление исследуется. Компьютерный эксперимент, как правило, проводится с моделью физического явления. Экспериментальная установка является чаще статичной визуализацией, лишь отдельные ее элементы могут быть интерактивными и выполнять функции ввода/вывода информации. В ряде случаев интерактивными являются все приборы и материалы, входящие в установку. Как правило, это реализуется в модельных конструкторах.

Учебный вариант КС физического эксперимента целенаправленно «оснащается» дидактическим функционалом. Интерфейс первых компьютерных симуляций УФЭ (начала 2000-х) был достаточно примитивным. Двумерный и, как правило, схематичный рисунок установки для эксперимента включал окна ввода параметров модели или их выбора из предложенного набора. Запуск модели обеспечивал вывод информации о состоянии исследуемого явления в виде численных данных, графиков или анимации, сопровождаемой в ряде случаев динамической математической интерпретацией изменений в протекании явления в виде диаграмм, изолиний и т.п.

Дидактическая «атрибутика» современных КС УФЭ отличается более высоким качеством. Прежде всего, это высокий уровень визуализации модели экспериментальной установки и возможность выполнения различных манипуляций с ее элементами. Эффект реалистичности в работе с такой моделью уси-

ливается применением 3D-моделинга и технологии «drag&drop». Трёхмерный формат моделирования приводит к обогащению эффектов реализации *принципа наглядности*, а обновленные процедуры управления элементами модели обеспечивают более широкие возможности организации обучения в соответствии с *принципом активности и сознательности*. Реализация указанных принципов в комплексе повышает значимость компьютерных симуляций УФЭ как средства обучения, поэтому с момента своего появления они сразу попали в центр внимания и учителей, и профессиональных разработчиков.

Заметная часть созданных для цифровой учебной среды симуляций УФЭ предназначена для решения преимущественно дидактических задач. При этом методология собственно физического эксперимента в целом ряде случаев представлена такими КС в крайне ограниченном виде. Для выполнения компьютерного эксперимента эти модели обычно непригодны. Другая (меньшая) часть КС УФЭ допускает проведение КВЭ, но при этом, как правило, отличается недостаточно развитым дидактическим функционалом. Интерфейс таких моделей имеет чаще классический (абстрактный) вид, поскольку в ходе исследования расчеты выполняются для большого числа входных параметров с широкими границами диапазона их изменения. Дидактические материалы для работы с такими симуляциями УФЭ включают, как правило, их общее описание, реже примеры конкретных заданий с краткой инструкцией к выполнению.

В научно-методической литературе и диссертационных исследованиях компьютерные симуляции УФЭ обозначаются по-разному. Применяется понятие «симуляционный физический эксперимент» (или «скрытый вычислительный») (С. Е. Попов [111], Д. В. Баяндин [28]). Используется понятие «имитационный эксперимент», суть которого связывается с исследованием модели какого-либо явления и воссозданием внешнего облика экспериментальной установки для его проведения (Н. С. Кравченко, О. Г. Ревинская, В. А. Стародубцев) [77, с. 88]. Встречается такое обозначение как «компьютерные моделирующие лабораторные работы» (КС различных физических процессов и объектов для лабораторного изучения) [77, с. 91], используются понятия «виртуальные лаборатор-

ные работы» (Д. И. Троицкий, Е. Е. Дикова, [145], Е. Г. Губский [50], Ю. Ю. Гавронская, В. В. Алексеев [46]), «компьютерная симуляция лабораторных установок» (А. С. Чирцов) [162, с. 13].

Приведенные выше термины для обозначения компьютерных симуляций УФЭ отличаются по смыслу и при этом не определены с достаточной полнотой. В ряде случаев их выбор, на наш взгляд, не вполне удачный. Например, термин «симуляционный эксперимент» не имеет однозначной ассоциативной трактовки. Это модель для выполнения вычислительного эксперимента, модель-симулятор экспериментальной деятельности или комбинация этих характеристик? Понятие «имитационный компьютерный эксперимент» уже используется в компьютерном моделировании в общепринятом смысле (п. 1.1. с. 19). Не вполне корректным является и понятие «виртуальная лабораторная работа», т.к. лабораторное задание может не носить экспериментального характера. Другими словами, очевидна необходимость уточнения видов компьютерных симуляций УФЭ и терминов их обозначающих.

На основе анализа практики разработки компьютерных симуляций УФЭ можно выделить три их относительно самостоятельных вида (рис. 4).

Первый вид симуляций УФЭ – это *учебный компьютерный симулятор лабораторного эксперимента (УКСЛЭ)*. В таких симуляторах моделируются установка для эксперимента, действия пользователя с ее элементами и визуализируются соответственно ответные реакции программы в виде качественных и количественных изменений в работе установки и протекании исследуемого на ней явления, выводе в том или ином виде численных данных и качественных характеристик протекания явления. Обеспечивается некоторая вариативность условий проведения модельного физического эксперимента. Число таких вариаций должно быть достаточным для систематизации и обобщения полученных результатов. В этом случае такой симулятор УФЭ является дидактически целесообразным, поскольку обеспечивает необходимый объем данных для имитации логики реального экспериментального исследования.

Симуляторы УФЭ преимущественно предназначены для реализации дидактических функций, а также поддержки формирования у учащихся представлений о методологии физического эксперимента и практики ее освоения (рис. 2, а). Компьютерный эксперимент на модели вида УКСЛЭ не предусмотрен.

Второй вид симуляций УФЭ предназначен для проведения полноценного *учебного компьютерного вычислительного эксперимента (УКВЭ)* (рис. 2, в). В рабочем окне такой модели представлены инструменты для взаимодействия с моделирующей программой и отображаются результаты эксперимента в виде численных данных и/или в форме какого-либо графического изображения (изолиний, таблиц данных, диаграмм, графиков функциональных зависимостей, анимации и пр.). Это классический (абстрактный) интерфейс, используемый в моделях данного вида (А. В. Никитин, М. И. Старовиков, Д. В. Баяндин, А. С. Чирцов и др.) [23, 96, 136]. При этом собственно экспериментальная установка для изучения явления не моделируется и не исследуется. Однако в ряде случаев такое моделирование (чаще абстрактное с отображением лишь отдельных элементов установки) может представлять самостоятельный интерес. Модели вида УКВЭ предназначены исключительно для освоения учащимися методологии компьютерного эксперимента.

Третий вид моделей УФЭ. *Учебный виртуальный лабораторный эксперимент (УВЛЭ)* – имитационный или гибридный компьютерный эксперимент, интегрирующий в структуре своего алгоритма модель изучаемого явления (объекта, процесса), модель экспериментальной установки, модель действий пользователя с ее элементами и модель управления этими действиями.

Модель УВЛЭ бифункциональна, т.е. может быть использована как *симулятор деятельности по выполнению физического эксперимента* и обеспечивает при этом проведение *компьютерного эксперимента*. В состав дидактических функций такой модели включены: визуализация экспериментальной установки и исследуемого на ней явления; интерактивная симуляция основных действий и операций пользователя, входящих в процедуру экспериментального исследования. (рис. 2, б). При этом математическая модель явления и алгоритм ее реали-

зации составляют основу выполнения полноценного компьютерного эксперимента.




Функции	<p>Дидактические функции (ДФ)</p> 	<p>ДФ + МФ</p> 	<p>Методологические функции (МФ)</p> 
Назначение	Симуляция деятельности по выполнению лабораторного эксперимента	Проведение КВЭ с моделью явления и симуляция деятельности по выполнению физического эксперимента	Выполнение КВЭ с моделью физического явления (объекта, процесса)
Название	Учебный компьютерный симулятор лабораторного эксперимента (УКСЛЭ)	Учебный виртуальный лабораторный (или натуральный) эксперимент (УВЛЭ, УВНЭ)	Учебный компьютерный вычислительный эксперимент (УКВЭ)
	а)	б)	в)

Рис. 2. Назначение компьютерных моделей физического эксперимента (дифференциация понятий)

Сочетание широкого комплекса *методологических* и *дидактических функций* в модели УВЛЭ обеспечивает учащимся возможность изучения физического явления (объекта, процесса), экспериментальной установки для исследования, конкретного способа выполнения эксперимента и освоение методологии экспериментального исследования, включая отработку экспериментальных умений. Могут быть поставлены и решены исследовательские задачи по методологии компьютерного эксперимента.

Какие виды компьютерных моделей УФЭ и в каком соотношении должны быть представлены в цифровой образовательной среде? В *приложении 1* (1.4, с. 229) приведен ретроспективный обзор результатов исследований и практических разработок компьютерных симуляций УФЭ для средней и высшей школы (А. С. Чирцов [162], О. И. Мухин [28]. Д. Б. Баяндин [20, 21, 23 и др.], Д. И. Троицкий и Е. Е. Дикова [145]. М. И. Старовиков [136] Н. А. Осипенников [101] и др.). Приведем резюме данного обзора.

Исторически первым является создание моделей вида УКВЭ (преимущественно для высшей школы) и рассмотрение организационных и методических

аспектов реализации в учебном процессе взаимосвязи компьютерного и физического экспериментов. Позднее появились многочисленные версии компьютерных симуляторов лабораторных работ по физике. Были предприняты попытки доказать их дидактическую значимость в условиях отрицания таковой большинством преподавателей. Тем не менее, компьютерные симуляторы УФЭ, несмотря на не всегда их высокое качество, оказались востребованными в образовательной практике, в особенности в средней школе. Причиной тому были специфические для восприятия обучающимися характеристики данных моделей (понятная метафора визуализации, диалоговая выразительность, однородность интерфейса), определяемые в комплексе как «*малое когнитивное расстояние*» [1, 2]. Это обеспечивало простоту применения таких симуляторов в обучении. Более совершенные компьютерные симуляции УФЭ, построенные на сложных математических моделях (в ряде случаев недоступных понимающим учащимся), далеко не всегда имели интерфейсы с оптимальным когнитивным расстоянием. Тем не менее, именно такие модели (реализующие, по выражению С. Е. Попова, «*скрытый вычислительный эксперимент*» [111]) справедливо обозначены как наиболее ценные в методологическом и дидактическом отношениях [23, 28, 104, 111, 162, и др.].

Необходимость разработки компьютерных симуляторов УФЭ до настоящего времени, так или иначе, дискутируется в педагогической среде. При этом симуляторы вида УКВЭ не вызывают возражений, чего нельзя сказать о симуляторах лабораторных экспериментов вида УКСЛЭ. Однако по мере наполнения цифровой образовательной среды ресурсами этого вида locus внимания с вопроса «быть или не быть» таким симуляторам был перенесен на обсуждение качества их разработки и направлений применения в обучении. В настоящее время совершенствуется программное обеспечение и интерфейсы таких симуляторов. Особую востребованность УКСЛЭ получили в условиях расширения практики дистанционного обучения в период 2020–22 гг. Однако наиболее перспективными, как представляется, должны стать бифункциональные симуляции УФЭ вида УВЛЭ (рис. 2, б).

В нашем исследовании предметом рассмотрения являются компьютерные симуляции УФЭ двух видов: и компьютерные симуляции УФЭ вида УКСЛЭ, и бифункциональные симуляции УФЭ вида УВЛЭ. Модели первого вида применимы в учебном процессе как *дополнительные средства* изучения и освоения физического эксперимента как метода познания. Модели второго вида (конструктивно и технологически более сложные) предназначены помимо этого еще и для обучения школьников отдельным этапам компьютерного моделирования. Совершенствование технологий создания компьютерных симуляций данных видов является одним из актуальных направлений развития цифровых средств обучения. Эти модели являются эффективным инструментом сопровождения обучения школьников двум важнейшим и связанным между собой методам научного познания: *физическому эксперименту и компьютерному моделированию*. Использование этих моделей должно войти в практику обучения физике в средней школе. Является необходимым продолжение разработки моделей вида УКВЭ. Их применение целесообразно для моделирования сложных физических процессов, изучение которых осуществляется преимущественно в рамках профильной подготовки по физике.

1.3.2. Реализация методологических и дидактических функций компьютерных симуляций учебного физического эксперимента

Методологические и дидактические функции в их общем виде, присущие учебной компьютерной симуляции, обсуждались в п. 1.2.2 (с. 40). Важно рассмотреть особенности их состава и содержания для конкретного объекта моделирования – *учебного физического эксперимента*. Знание этих функций является важным в содержании подготовки будущих учителей к практической педагогической деятельности как в части выбора и применения компьютерных симуляций УФЭ в учебном процессе, так и в их разработке.

Реализация методологических функций компьютерных симуляций УФЭ (видов УВЛЭ и УКВЭ). Приведенный в общем виде в п. 1.2.2. (с. 40–45) перечень функций КС необходимо уточнить (ограничить) применительно к компьютерным моделям УФЭ. *Первым условием* ограничения является ори-

ентир на модели тех физических явлений (объектов, процессов), которые могут рассматриваться как объекты исследования в учебном физическом эксперименте (лабораторном, демонстрационном, в том числе реализуемом в видеодемонстрациях). *Второе условие* – это работа учащихся только с «готовыми» КС. *Третье условие* связывается с уровнем подготовки учащихся по физике. В соответствии с данными условиями из общего состава методологических функций должны быть исключены следующие функции: *гносеологические* – 2.2; 2.6 и 2,8; *интегрирующая* – 3.2 (3); *регулятивная* – 7, 8. Остальные функции являются возможными для рассмотрения, если для их демонстрации у учителя будут в системе цифровых средств обучения компьютерные симуляции, включающие соответствующий функционал.

При выборе и использовании на занятии «готовой» компьютерной симуляции (УВЛЭ или УКВЭ) учителю необходимо уточнить состав ее методологических функций и подготовить для организации работы с моделью учебные задания и инструктивные указания, ориентирующие учащихся на изучение/использование заданного методологического функционала.

Требует отдельного рассмотрения регулятивная функция моделей этого вида. Данная функция ориентирована, прежде всего, на освоение учащимися общей логики и процедуры компьютерного моделирования (*табл. 1, с. 37-40*), в том числе на этапе выполнения *компьютерного эксперимента*. При условии работы с «готовой» симуляцией этот этап является основным в учебной деятельности, поэтому приведенный ранее обобщенный план (ОП) компьютерного моделирования должен быть модифицирован (частично сокращен и детализирован). Исходя из особенностей учебной ситуации, учитель может выполнить дополнительную конкретизацию обобщенного плана с учетом вида модели (по назначению – *дескриптивная, оптимизационная* и по цели моделирования – *исследование, прогнозирование, управление*).

В настоящем исследовании разработан *обобщенный план выполнения компьютерного эксперимента* в двух вариантах его применения: 1) в ситуации самостоятельно выполняемого учащимся полного цикла компьютерного моде-

лирования (табл. 3); 2) для случая исследования «готовой» компьютерной симуляции, в разработке которой учащийся не участвовал (табл.4).

Таблица 3

Обобщенный план выполнения компьютерного эксперимента
(вариант 1: в составе полного цикла компьютерного моделирования)

1. Выполнение первого этапа КЭ в соответствии с поставленной задачей (в рамках одной вычислительной модели).	
1.1.	<p>Запуск расчета модели (изменение ее отдельных параметров для оценки их влияния на результат):</p> <ul style="list-style-type: none"> - уточните параметр (ы) модели, которые необходимо задать для нахождения искомых численных характеристик явления или выявления соответствующих состояний исследуемого процесса; - уточните параметр (ы) модели, которые необходимо изменять для выявления интересующих особенностей (закономерностей) ее поведения; - при проведении количественного эксперимента следует уточнить (назначить) диапазон и шаг изменения параметров модели (если это предусмотрено в интерфейсе модели); - при наличии нескольких переменных входных параметров определите последовательность серий вычислений (в каждой серии расчетов следует изменять лишь один из параметров, оставляя другие параметры модели постоянными); - при достаточной ясности поведения модели в различных условиях возможно одновременное изменение нескольких параметров.
1.2	<p>Анализ и описание результатов расчета модели:</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 (их выявление и оценка при наличии).
1.3.	<p>Сравнение результатов моделирования с известными данными физического эксперимента с целью (или/или):</p> <ul style="list-style-type: none"> - оценки результатов прогнозирования, - подтверждения теоретической гипотезы, - проверки корректности аппроксимационной модели, - анализа управленческих или оптимизационных решений.
1.4.	Оценка точности результатов моделирования и соответствия по точности входных и выходных данных модели.
1.5.	Заключение о качестве моделирования явления (его физической и математической моделей, вычислительного алгоритма и его программной реализации). Принятие решения об уточнении модели.
2. Выполнение второго этапа КЭ в рамках некоторого набора математических моделей в соответствии с внесенными уточнениями.	
2.1.	<p>Внесение уточнений:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>физической модели явления</i> («наполнение» модели дополнительными параметрами с целью повышения степени ее соответствия реальному объекту исследования);

	<ul style="list-style-type: none"> – математической модели явления (методов расчета, начальных и граничных условий исследования, введенных приближений, заданных диапазонов изменения независимых параметров и искомых величин, числа независимых параметров, переход к безразмерным величинам); – вычислительного алгоритма; – программной реализации алгоритма.
2.2.	Последовательное построение, расчет, сравнение результатов с данными физического эксперимента иерархической цепочки уточненных моделей. Накопление и сохранение результатов моделирования.
2.3.	Сравнение результатов исследования моделей. Выбор из реализованных моделей той, которая: <ul style="list-style-type: none"> – наиболее проста; – дает результаты, согласующиеся с достаточной точностью с экспериментальными данными; – отличается согласованностью точности входных и выходных данных.
3. Анализ результатов компьютерного эксперимента.	
3.1.	Изучение результатов моделирования, представленных в различной графической форме (<i>таблицей, диаграммой, графиками, изолиниями, анимацией</i> и т.д.).
3.2.	Обработка данных 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).
3.3.	Систематизация данных, их обобщение (выявление закономерностей).
3.4.	Интерпретация непредусмотренных ранее эффектов моделирования.
3.5.	Проверка достоверности результатов моделирования: <ul style="list-style-type: none"> – сравнение с известными данными физических экспериментов (при наличии); – сравнение с результатами расчетов других, хорошо себя зарекомендовавших моделей; – указание <i>границ применимости модели</i>, для которых считаются справедливыми результаты моделирования.
4. Выводы по результатам компьютерного эксперимента.	
4.1.	Формулировка заключения: <ul style="list-style-type: none"> – о достоверности численных результатов моделирования. – состоятельности построенных для исследования явления моделей (физической и математической). – справедливости гипотез, сформулированных на их основе.
4.2.	Постановка задачи продолжения (дальнейшего развития, совершенствования) вычислительного эксперимента, в частности с целью исследования различных модификаций исследуемого объекта.

**Обобщенный план выполнения компьютерного эксперимента
(вариант 2: исследование «готовой» компьютерной модели)**

1. Анализ проблемы и постановка задачи исследования.	
1.1.	Изучение <i>физической модели явления</i> (объекта, процесса): <ul style="list-style-type: none"> - 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> , введенных 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). <i>Формулировка задачи исследования.</i>
2. Анализ математической модели явления.	
2.1.	Анализ <i>формализованной математической модели</i> : <ul style="list-style-type: none"> - (*) изучение ее 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: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> независимых входных: <ul style="list-style-type: none"> o собственных внутренних параметров явления, o управляемых воздействий на явление, o неуправляемых воздействий внешней среды; <input type="checkbox"/> зависимых выходных (искомых) параметров явления.
2.2.	Анализ <i>прикладной математической задачи</i> – изучение и оценка реалистичности: <ul style="list-style-type: none"> - начальных условий, определяющих состояние системы в начальный (данный) момент времени; - граничных условий, задающие поведение исследуемой системы на границе рассматриваемой области; - диапазонов изменения независимых параметров; - диапазонов изменения искомых величин.
2.3.	Качественный анализ математической задачи, проверка ее корректности: <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.	Анализ <i>пользовательского интерфейса</i> модели: <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.	Определение <i>порядка проведения</i> компьютерного эксперимента: <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;

	<ul style="list-style-type: none"> – уточнение параметра (ов) модели, которые необходимо изменять для выявления интересующих особенностей ее 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 расчетов 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>(*) Запуск модели в <i>тестовом режиме</i>.</p> <ul style="list-style-type: none"> – оценка достоверности расчета 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; – состоятельности используемых для исследования явления моделей (физической и математической); – справедливости прогнозов, сформулированных на их основе.
6.2.	<p>(*) Постановка задачи продолжения (дальнейшего развития, совершенствования) вычислительного эксперимента, в т. ч. с целью исследования различных модификаций исследуемого объекта.</p>

Содержание работы учащихся с «готовой» компьютерной симуляцией (*вариант 2*) зависит от сложности моделируемого физического процесса. Имеет смысл обсуждать два уровня сложности. *Первый уровень* сложности связан с такими симуляциями УФЭ, математическая модель и вычислительный алгоритм которых доступны пониманию учащихся. *Второй уровень* основан на использовании «скрытой» математической модели в силу ее теоретической сложности. Это касается и вычислительного алгоритма. Эти уровни сложности компьютерных экспериментов можно сравнить соответственно с физическими экспериментами, в одном из которых используются приборы с известным учащимся принципом действия, а в другом – с недоступным их пониманию. Последний из вариантов в дидактическом отношении менее предпочтителен, поскольку не обладает для учащихся необходимой доказательной силой, но с иллюстративной точки зрения все же может быть весьма полезным. Аналогичным образом компьютерный эксперимент может стать средством освоения учащимися важных элементов теоретического знания, но без использования сложного математического аппарата физической теории, недоступного пониманию учащихся. Наглядный пример такого компьютерного эксперимента представлен в статье [22, с. 32]. Авторами этой работы раскрываются возможности выполнения учащимися компьютерного эксперимента при изучении закономерностей теплового движения в неравновесных и равновесных системах. Еще один пример такого варианта компьютерного эксперимента показан в приложении 2 (2.12, с. 445–447). Это подготовленная студентом учебная компьютерная симуляция опыта О. Штерна.

Рассмотрим особенности выполнения учащимися компьютерного эксперимента с использованием симуляций данных уровней сложности.

Уровень 1. Логика работы определяется обобщенным планом (*вариант 2, табл. 4*). Учащиеся знакомятся с постановкой физической задачи, математической моделью явления, алгоритмом вычислений и интерфейсом «готовой» компьютерной модели УФЭ. При этом разработкой программного кода реализации вычислительного алгоритма на компьютере они не занимаются.

Обсуждение вычислительного алгоритма имеет место и представляет особую важность, поскольку замена в ходе компьютерного моделирования математической задачи алгоритмом расчета модели фактически приравнивается к *планированию вычислительного эксперимента*. Данный алгоритм задает последовательность арифметических и логических действий, выполняемых на компьютере и позволяющих получить решение поставленной задачи [111, с. 134]. На основе анализа алгоритма вычислений у учащихся формируется представление о порядке проведения компьютерного эксперимента. При обсуждении с учащимися данного алгоритма целесообразно использовать элементы проблемной беседы как метода обучения.

Дополнительным визуальным регулятивом построения плана проведения компьютерного эксперимента является диалоговый интерфейс компьютерной программы, реализующей алгоритм расчета модели. С учащимися обсуждаются представленный интерфейсом инструментарий диалога пользователя с моделью: кнопки управления; поля ввода/вывода данных; выбор объектов исследования, значений диапазона переменных параметров, а также способов представления результатов УКВЭ (в виде таблиц, графиков и пр.).

По результатам анализа вычислительного алгоритма и пользовательского интерфейса модели составляется план проведения УКВЭ. Далее учащиеся приступают к его реализации, исследуют полученные результаты и делают выводы. По результатам компьютерного эксперимента проводится лабораторный (или демонстрационный) физический эксперимент и на этой основе дается оценка достоверности компьютерного моделирования. В *приложении 1* (1.6, с. 260–273) приведен пример реализации обобщенного плана проведения компьютерного эксперимента с «готовой» симуляцией УФЭ вида УВЛЭ для задачи поиска оптимального режима выполнения лабораторного физического эксперимента по теме «Закон Джоуля-Ленца» (рис. 5).

Уровень 2. Работа с учащимися организуется на основе этого же обобщенного плана (*табл. 4*, вариант 2). Пункты ОП, отмеченные в плане *, опускаются. Учащиеся знакомятся с качественной постановкой физической задачи. Математическая модель и вычислительный алгоритм не обсуждаются в силу их

высокой сложности. Анализируется интерфейс модели и этой основе планируется и выполняется компьютерный эксперимент (самостоятельно или совместно с учителем).

Систематическая практика выполнения компьютерного эксперимента с использованием «готовых» компьютерных симуляций с учетом разнообразия их видов, назначения и целей моделирования является условием успешного решения учителем задачи формирования у учащихся представлений об их методологическом потенциале как метода познания.

Реализация дидактических функций компьютерной симуляции УФЭ.

В общем виде дидактические функции компьютерных симуляций рассмотрены в п.1.2.2 (с. 45). Необходимы конкретизация и уточнение их состава при рассмотрении КС учебного физического эксперимента. В особенности дидактически насыщенными являются симуляции видов УКСЛЭ и УВЛЭ, в которых представлены симуляторы физического эксперимента.

Как отмечалось ранее, при разработке симуляторов УФЭ является важным визуальное отображение объекта моделирования. Для современных версий симуляторов УФЭ предпочтительно применение реалистичного интерфейса учебной сцены и высокотехнологичных визуализаций модели экспериментальной установки и ее элементов. Перспективным вариантом являются симуляторы УФЭ, выполненные с применением элементов виртуальной реальности. Созданный в виртуальной среде фотореалистичный кабинет для лабораторного практикума, 3D-моделинг экспериментальной установки, наличие моделей дополнительного оборудования к опыту, квазиреалистичные действия с интерактивными элементами модели (перемещение, поворот, изгиб, кручение, трение и т.п.) и разнообразные интерактивные дидактические материалы – все это в комплексе помогает учащемуся глубоко «погрузиться» в процесс самостоятельного экспериментирования [8, с.29]. Возникает некое подобие иммерсионной симуляции (от англ. *immersion* – присутствие).

Компьютерные симуляторы УФЭ обеспечивают достижение широкого комплекса целей обучения. Может быть организована *репродуктивная лабо-*

рабочая работа как аналог реального эксперимента, ориентированная на изучение физического явления, возможна имитация *учебного экспериментального исследования*. На модели УВЛЭ в режиме симулятора за счет более совершенной его математической модели может быть проведено несколько разных учебных исследований с достаточным (что важно!) по объему набором данных для их последующих обработки и обобщения. Учащимся может быть предложено *экспериментальное задание-тренажер*, например, для отработки умения сборки экспериментальной установки, формирования измерительных умений с использованием конкретных мер и физических приборов и др. Возможно выполнение *контрольных экспериментальных заданий*. Умения и навыки, отработанные у учащихся в виртуальной среде, составят основу их успешной работы в условиях школьной лаборатории физического эксперимента.

Согласно классификации компьютерных симуляций (*прил. 1 (1.3)*, с. 228–229), могут быть составлены их *фасетные формулы*, отличающиеся: 1) объектом компьютерной симуляции, 2) способом ее реализации на компьютере, 3) целью применения в обучении (назначением) 4) уровнем интерактивности [104, с. 338–344]. Комбинация оснований данной классификации и видовых признаков КС в каждой из указанных групп позволяет получить достаточное видовое разнообразие компьютерных симуляций, обеспечивающих решение широкого комплекса дидактических задач. Описание процедуры построения фасетных формул для разработки КС на примере проектирования компьютерных симуляторов УФЭ приведено в *приложении 1 (1.7, с.274–278)*.

Определение состава возможных дидактических функций компьютерных симуляторов УФЭ – важная научно-методическая задача. В ряде публикаций авторами приводится, как правило, общий перечень функций КС независимо от их вида (Д. В. Баяндин, Е. В. Оспенникова, М. И. Старовиков, В. В. Ларионов, С. Н. Ким, Д. И. Троицкий, Е. Е. Дикова, А. С. Чирцов и др.). В систематизированном виде данные функции применительно к моделям УФЭ пока не представлены в научно-методических исследованиях. Решение этой задачи

позволит дать развернутое обоснование необходимости разработки симуляторов УФЭ и уточнить на этой основе направления их применения в обучении.

Рассмотрим предварительно назначение физического эксперимента как традиционного средства обучения. К дидактическим целям УФЭ, организуемого в процессе преподавания курса физики, относятся следующие:

I. Овладение предметным знанием:

1) на *эмпирическом уровне*:

- установление научных фактов;
- накопление фактов с их последующей систематизацией (в том числе для введения эмпирических понятий, обозначающих их однородные группы);
- проверка справедливости систем фактов (классификаций, квантификаций и др.);
- проверка следствий эмпирических законов, выявление границ их применимости.

2) на *теоретическом уровне*: оценка справедливости физических теорий.

II. Освоение физического эксперимента как метода научного познания:

1) изучение методологии экспериментального исследования: места эксперимента в системе научного поиска; общей логики экспериментального исследования; видового разнообразия физического эксперимента, в том числе по цели исследования;

2) изучение и освоение оборудования для экспериментального исследования (общего, специального): мер и приборов (устройства, принципа действия, режимов работы, правил их использования);

3) изучение и освоение методов постановки конкретных физических экспериментов;

4) формирование экспериментальных умений (конкретных, обобщенных).

III. Овладение начальным опытом самостоятельного экспериментального исследования на основе:

1) применения известного способа достижения поставленной цели:

- по обнаружению явлений;
- выявлению характеристик явлений, их количественной оценки;
- поиску закономерностей протекания явлений;

2) самостоятельного проектирования способа экспериментального исследования и его практической реализации.

Для достижения этих целей в учебном процессе используются разные виды УФЭ (*демонстрационный эксперимент, фронтальные опыты и лабораторный эксперимент*). Целесообразна организация *выполнения опытов в домашних условиях*. Что нового приобретается, а что теряется, если учащимся наряду с традиционными физическими опытами предлагается работа с компьютерными симуляторами УФЭ? Отметим, что речь идет о гомоморфных компьютерных интерактивных моделях физического эксперимента как *дополнительных средствах сопровождения* практики изучения школьниками основ физики и освоения экспериментального метода изучения физических явлений.

При построении системы дидактических функций симуляторов УФЭ мы опирались на базовые свойства виртуальной среды: *мультимедиа, моделинг, интерактивность, производительность, интеллектуальность, коммуникативность* [104, с.52–60]. В результате исследования области «пересечения» целей учебного физического эксперимента и свойств виртуальной среды, определяющих дополнительные способы и приемы достижения данных целей, была построена система дидактических функций компьютерных симуляторов УФЭ. Оценка значимости выявленных функций и их отбор осуществлялись на основе анализа их потенциального влияния на реализацию в обучении классических принципов дидактики: *научности, наглядности, сознательности и активности, систематичности и последовательности, доступности, прочности, связи теории с практикой* [108, с.258]. Ниже приведена система дидактических функций компьютерных симуляторов УФЭ.

I. Дополнительные возможности симуляторов УФЭ в овладении предметным знанием (применение инструментальных средств виртуальной среды для углубления и обогащения знаний о физических явлениях).

1. Демонстрация изучаемого явления в динамике, включая его развитие в пространстве и времени, в том числе с изменением пространственно-временных масштабов протекания (для быстротекущих и медленно текущих процессов, а также процессов с малыми изменениями исследуемых характеристик); применение эффектов повторного воспроизведения и стоп-кадра.

2. Использование различных графических акцентов при визуализации внешних существенных признаков изучаемого явления.

3. Концентрация внимания на существенных характеристиках изучаемых процессов за счет их воспроизведения в «чистом» виде с точным соблюдением требуемых условий протекания.

4. Применение 3D-графики как средства объемной визуализации и зум-эффекта как инструмента масштабируемой визуализации с целью обеспечения всестороннего и более глубокого пошагового анализа исследуемых явлений.

5. Применение различных способов статичного представления результатов экспериментального (таблицы, графики, диаграммы различных видов и пр.), способствующих их углубленному аналитическому исследованию.

6. Использование динамической визуализации результатов эксперимента (графиков, изолиний, структур, распределений объектов и их характеристик, траекторий движения и пр.), расширяющей возможности их анализа, в том числе при исследовании сложных явлений на уровне доступном пониманию без обращения к громоздкому математическому описанию теории вопроса.

7. Демонстрация в процессе работы с симулятором особенностей протекания явлений на макро- и микроуровнях и взаимосвязи макро- и микропараметров их характеризующих.

8. Визуализация в ходе эксперимента модельных представлений о сущности явления (*движение и распределение микрочастиц, силовые линии электрического и магнитного полей, распространение электромагнитных волн, доменная структура магнитов, корпускулярно-волновой дуализм, линии тока жидкости* и т.п.).

II. Дополнительные возможности симулятора УФЭ в изучении содержания эксперимента как метода познания и освоении учащимися экспериментальных умений.

1. *Применение инструментов виртуальной среды с целью предъявления информации о техническом обеспечении физического эксперимента (оборудовании общего и специального назначения, мерах и измерительных приборах, экспериментальных установках):*

а) использование компьютерной графики и эффектов мультимедиа:

- для выделения основных элементов экспериментальной установки с указанием их назначения и технических характеристик;
- отображения внутреннего устройства экспериментального оборудования;
- демонстрации в динамике работы экспериментальной установки, а также отдельных физических приборов и прочих технических объектов, входящих в ее состав (*насоса, барометра, электродвигателя, генератора, осциллографа; усилителя постоянного тока на транзисторе и т.п.*);

б) применение *3D-графики* как средства объемной визуализации экспериментальной установки и *зоот-эффекта* как инструмента масштабируемой детализации ее элементов для изучения и всестороннего анализа.

2. *Расширение представлений о видовом разнообразии физического эксперимента на основе применения системы симуляторов, реализующих его разные познавательной цели:*

а) *обнаружение физических явлений*: новых материальных объектов; новых свойств материальных объектов; новых движений (взаимодействий) объектов; новых характеристик движений (взаимодействий);

б) *количественная оценка свойств объектов*, включая определение фундаментальных констант;

в) *количественная оценка характеристик движения (взаимодействия)*, включая определение фундаментальных констант;

г) выявление связей между свойствами объектов, физическими характеристиками процессов, а также воздействующими на них внешними факторами: причинно-следственных (динамических, вероятностных), функциональных, атрибутивных, структурных и др.:

- качественный уровень (обнаружение связи, ее особенностей);
- количественный уровень (установление численных отношений, вида функциональной зависимости и др.).

3. *Обогащение и совершенствование практики освоения процессуальной составляющей экспериментального метода познания:*

а) выполнение экспериментального исследования с достаточным для систематизации и обобщения объемом экспериментальных данных, недостижимом в учебном лабораторном эксперименте (при установлении научных фактов, выявлении закономерностей, определении границ их проявления);

б) наращивание и закрепление опыта экспериментальной деятельности за счет увеличения числа лабораторных экспериментов и создание на этой основе необходимых условий для отработки (*тренажа*) конкретных и формирования обобщенных экспериментальных умений;

в) применение симуляторов как средства дополнительной подготовки к лабораторному занятию:

- изучение на симуляторе устройства и принципа работы приборов, правил их использования и способов применения в конкретном эксперименте;
- предварительное выполнение на симуляторе лабораторного задания с целью уяснения идеи эксперимента и способа его постановки;
- выполнение лабораторного задания на симуляторе с учетом использования дополнительного оборудования и возможностью:
 - модификации модели экспериментальной установки (*работа с модельным конструктором*);
 - конструированием новой экспериментальной установки (*работа с модельным конструктором*);

- применение в составе симулятора средств управления деятельностью учащихся по выполнению эксперимента:
 - визуализация порядка выполнения эксперимента средствами компьютерного интерфейса или процедурной инфографики;
 - активация всплывающих подсказок по содержанию действий и операций, технологии их выполнения;
 - программная реакция симулятора на допущенные ошибки (неточности) в выполнении эксперимента.

4. *Возможность «замещения» симулятором некоторых физических экспериментов при условии недоступности их выполнения учащимися:*

- а) демонстрационных опытов, предназначенных для проведения только учителем;
- б) лабораторных экспериментов сложных по технике постановки:
 - требующих тщательной настройки, а также трудоемких или продолжительных по времени;
 - связанных с исследованием сложных систем и процессов, в том числе стохастических;
 - включающих широкий диапазон изменения исследуемых характеристик физических явлений и условий их протекания, недоступных для воспроизведения в школьной лаборатории;
- в) предметно-модельных экспериментов (*механическая модель опыта О. Штерна, механическая модель броуновского движения и др.*) с целью воспроизведения идеальных условий их постановки, расширения границ изменения параметров модели и режимов ее работы;
- г) натуральных опытов (наблюдений, экспериментов) с целью демонстрация способов исследования явлений в естественных условиях;
- д) исторического эксперимента, в том числе фундаментальных физических опытов (создание их компьютерных реконструкций);
- е) физико-технических экспериментов по изучению работы технических устройств (исследование режимов их функционирования, выявление из них наиболее оптимальных, оценка негативных последствий работы и пр.);

- ж) опытов, реализуемых на уникальном / специальном оборудовании;
- з) экспериментов опасных для проведения в условиях школьного кабинета физики (высокое напряжение, значительная сила тока, большое давление, наличие вредных химических веществ и т.п.);
- и) традиционных учебных физических экспериментов для выполнения:
 - в условиях дистанционного обучения;
 - по месту обучения (в порядке исключения) при недостаточности лабораторной базы.

Ш. Возможность создания целевых систем симуляторов УФЭ как дополнительного средства формирования у учащихся опыта самостоятельного экспериментального исследования.

1. Ориентированных на достижение *разных познавательных целей* эксперимента.
2. Предназначенных для «*замещения*» *физических экспериментов* отдельных видов.
3. Используемых *в качестве тренажеров* при формировании экспериментальных умений (конкретных обобщенных), включающих, в том числе, *автоматизированное управление познавательной деятельностью* (построение индивидуальных маршрутов работы над экспериментальным заданием и контроль его выполнения – текущий, итоговый).
4. Применяемых как средства развития исследовательского потенциала учащихся в постановке и проведении физического эксперимента:
 - а) симуляторов нетривиальных экспериментов, ориентированных на дополнение и углубление знаний программы школьного курса физики;
 - б) симуляторов для решения олимпиадных экспериментальных задач.

Указанная выше система дидактических функций компьютерных симуляторов УФЭ (УКСЛЭ, УВЛЭ) является научно-методическим обоснованием необходимости их применения в обучении. Данная система, с одной стороны, определяет состав целей их применения в учебном процессе по физике, с дру-

гой – демонстрирует перечень направлений разработки их дидактической атрибутики и создания целевых систем таких КС.

Для симуляций УФЭ вида УКВЭ необходимо сделать выборку из указанного выше перечня дидактических функций. Состав таких функций для симуляций УФЭ этого вида будет ограничен.

При использовании компьютерных симуляторов УФЭ не следует забывать о совокупности негативных следствий такой учебной работы.

1. Первое, что теряется – это полнота восприятия исследуемого явления и работы экспериментальной установки. Отсутствуют естественные ощущения от контакта с физическими приборами, не формируются соответствующая операционная моторика. Иначе распределяется внимание, модифицированы ответные реакции учащегося на экспериментальные «события».

2. При частой работе с симуляторами притупляется (исчезает) понимание опасности и не формируется опыт аккуратной и осторожной работы с экспериментальной установкой. Может быть реализована (лишь отчасти) профилактика данного эффекта за счет встроенных реакций программы симулятора на недопустимые действия пользователя с оборудованием для эксперимента.

3. Полезная, казалось бы, идеализация («чистота») процесса исследования явления, лишает обучаемого возможности восприятия результатов эксперимента во всем их богатстве, включая различные сопутствующие эффекты, фиксация и осмысление, которых являются важными в научном познании.

4. Негативные эффекты кроются в процедуре пространственно-временного масштабирования исследуемых объектов и процессов. Ее некорректное применение чревато смысловыми искажениями в усвоении учебного материала. С этой целью в сопровождающих модель дидактических материалах должна быть представлена характеристика тех параметров масштабирования, которые введены в модель для построения ее визуального образа.

5. Не один симулятор не обеспечивает формирование экспериментальных умений в полном составе и необходимом качестве.

В силу указанных и, возможно, некоторых других причин симуляторы УФЭ могут вполне успешно выполнять лишь *функцию дополнительного сред-*

ства обучения, направленного на совершенствование предметного знания и методологической подготовки учащихся средней школы в области учебного физического эксперимента. При этом важно отметить, что состав этих функций у симуляторов вида УКСЛЭ несколько ограничен в сравнении с симуляторами вида УВЛЭ, базирующихся на «скрытом» вычислительном эксперименте.

Фронт работы по созданию компьютерных симуляций УФЭ различных видов необозримо широк. Решением этой задачи могут заниматься не только профессиональные разработчики, но и увлеченные компьютерным моделированием учителя физики. Первый опыт создания компьютерных симуляций будущие специалисты должны приобрести еще в педагогическом вузе.

1.3.3. Особенности разработки и применения в обучении компьютерных симуляций учебного физического эксперимента

В настоящем исследовании внимание сосредоточено на научно-методических проблемах создания компьютерных симуляций УФЭ видов УКСЛЭ и УВЛЭ, а также практики их применения в обучении физике в средней школе. Решение этих проблем имеет своей целью определение содержания профессиональной подготовки учителя физики в области проектирования учебного процесса, обеспечивающего освоение школьниками физического и компьютерного экспериментов как методов познания. Согласно гипотезе нашего исследования, самостоятельная работа по созданию компьютерных симуляций УФЭ и проектированию учебного процесса с их применением обеспечивает у будущих учителей более высокий уровень профессиональной компетенции в данной области педагогической практики. Дополнительным важным следствием этой работы является пропедевтика профессиональной подготовки заинтересованной части студентов как будущих разработчиков учебных ресурсов для предметной цифровой среды.

Рассмотрим особенности разработки компьютерных симуляций УФЭ указанных видов на том уровне их качества, который является, с одной стороны, доступным студенту педагогического вуза, с другой – обеспечивает воз-

возможность создания будущими учителями полноценных цифровых ресурсов для их применения в обучении физике в средней школе.

Компьютерные симуляции вида УКСЛЭ предназначены для усвоения предметного знания и поддержки практики освоения учащимися методологии физического эксперимента. Их назначение – реализация преимущественно разнообразных дидактических функций, состав которых определяется содержанием и сложностью моделируемого физического эксперимента.

Математическую основу таких симуляций УФЭ в большинстве случаев составляют одна-две эмпирические закономерности. Алгоритм работы такой КС может строиться на аналитической математической модели или посредством табуляции соответствующих функциональных зависимостей, но непременно с достаточно большим массивом табличных данных. Программная реализация действий с элементами модели, различные эффекты анимации их сопровождающие могут базироваться на простых имитационных алгоритмах.

На основе работы с такими симуляторами организуется изучение конкретного физического явления и способа его экспериментального исследования: 1) обнаружения явления, 2) измерения его количественных характеристик, 3) выявления закономерностей протекания. При необходимости симулятор может быть «оснащен» демонстрацией внутреннего устройства отдельных приборов экспериментальной установки, анимацией принципа их работы. Наряду с отображением качественных характеристик изучаемого явления и их количественных значений возможна динамическая визуализация «механизма» протекания изучаемого явления. Доступы для использования цифровые дидактические материалы (*справочные, регулятивные*), поддерживающие работу учащегося с симулятором. На программном уровне реализуется отслеживание и корректировка типичных ошибок (неточностей), которые допускает учащийся в работе. Внешний вид такого симулятора УФЭ показан на рисунке 3. На рисунке 4 представлен комплект интерактивных дидактических материалов для самостоятельной работы учащихся с симулятором.

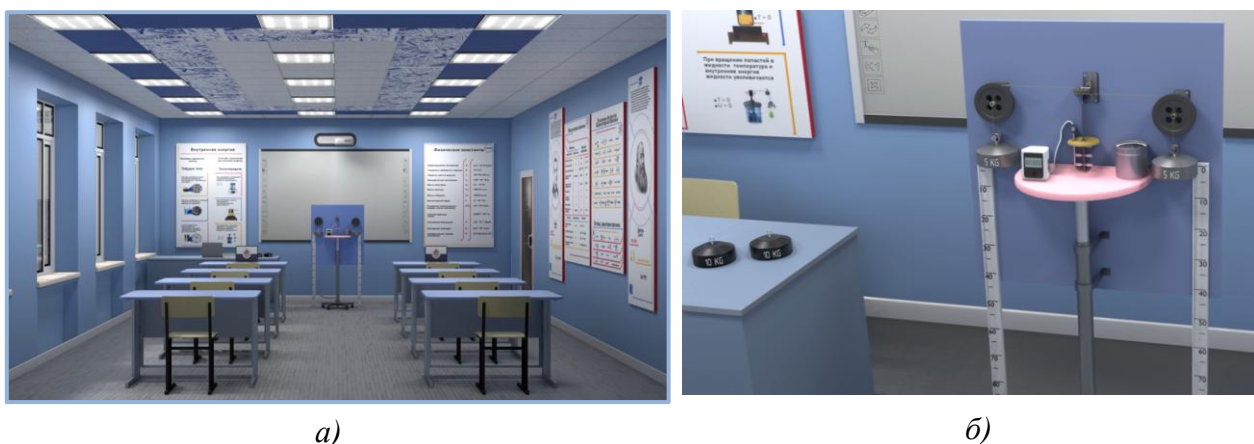


Рис. 3. Компьютерный симулятор «Опыт Джоуля» (проект ст. Т. А. Яковкиной, ПГГПУ, 2021): а) виртуальный учебный класс, б) интерактивная модель экспериментальной установки [13]

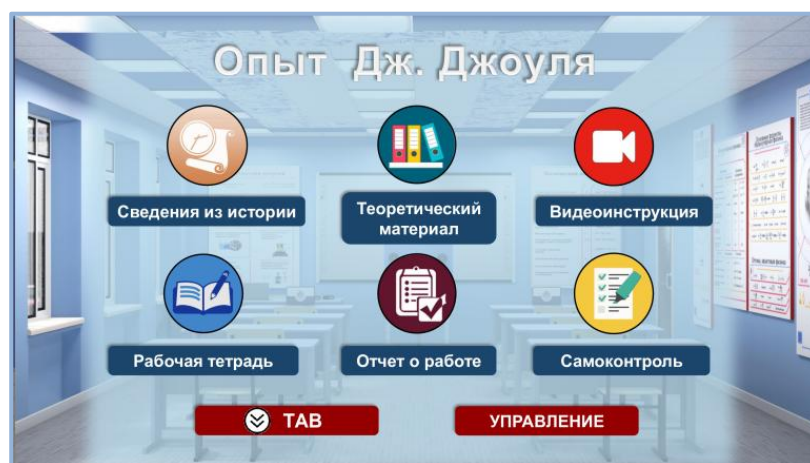


Рис. 4. Компьютерный симулятор «Опыт Джоуля» (проект ст. Т. А. Яковкиной, ПГГПУ, 2021): модель виртуального планшета с комплектом интерактивных учебных материалов [13]

КС вида УКСЛЭ могут использоваться не только как симуляторы школьного лабораторного физического эксперимента, но и как симуляторы сложных и (или) небезопасных опытов, которые предназначены для демонстрации исключительно учителем, а также фундаментальных исторических экспериментов. Полезно создание симуляторов нетривиальных опытов. Рекомендации по проектированию и пример разработки студентом симулятора вида УКСЛЭ для изучения фундаментального физического эксперимента «Опыт Джоуля» (10 класс) представлен в *приложении 1* (1.5, с. 234–250).

Компьютерные симуляции вида УВЛЭ являются функционально универсальным решением для применения в учебном процессе, поскольку ориен-

тированы на комплексную реализацию дидактических и методологических функций КС. Такие симуляции, как правило, имеют в своей основе более сложные математическую модель и алгоритм ее реализации. Возможно использование УВЛЭ в двух режимах.

Режим симулятора УФЭ. Интерфейс модели в данном режиме показан на рисунке 5. Работа в таком режиме фактически означает оснащенный развитым дидактическим функционалом «скрытый» вычисленный эксперимент с моделью физического объекта или процесса. За счет более сложной математической модели, составляющей основу алгоритма компьютерной программы, вариативность такого модельного физического эксперимента и соответственно объем данных для систематизации и обобщения существенно повышаются.

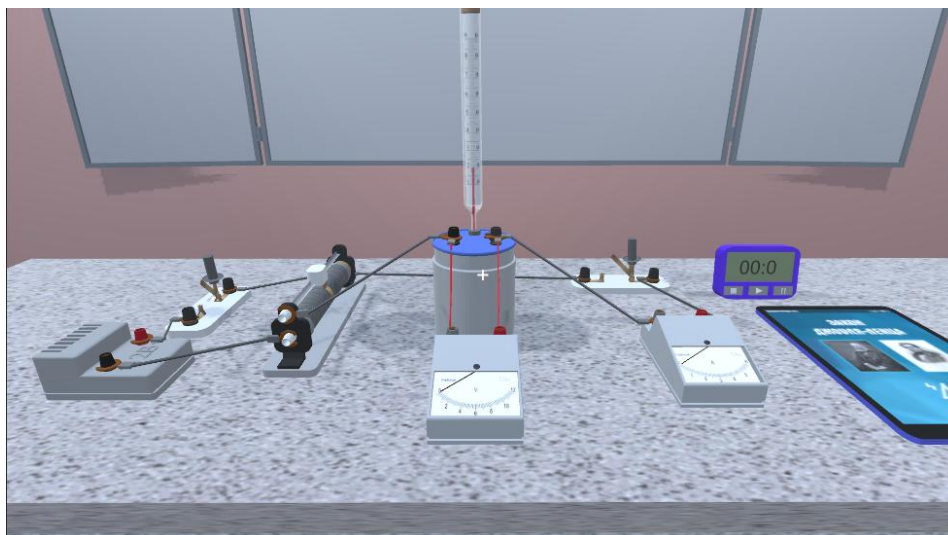


Рис. 5. Компьютерная модель (УВЛЭ) физического эксперимента «Закон Джоуля-Ленца»: режим симулятора УФЭ (проект ст. Л. Ю. Худорожкова, физический факультет, ПГГПУ)

Дидактический функционал УВЛЭ в режиме симулятора аналогичен функционалу УКСЛЭ, но обладает большей вариативностью. К дидактическим функциям относятся: 1) формирование предметного знания за счет реалистичной визуализации объектов модели (установки физического эксперимента и собственно исследуемого на ней явления); 2) изучение (освоение) на модели логики планирования и практики выполнения конкретного физического экспе-

римента; 3) формирование и отработка у учащихся экспериментальных умений (конкретных, обобщенных).

Режим учебного компьютерного эксперимента. Для работы в этом режиме может быть предусмотрена смена интерфейсов. Пользователь меняет рабочее окно с имитацией функционала экспериментальной установки на окно с классическим (*абстрактным*) интерфейсом, оснащенным только инструментами ввода данных и вывода результатов моделирования (рис. 6). Основу работы симуляции вида УВЛЭ в этом режиме составляет та же математическая модель явления, что и при работе в режиме симулятора.

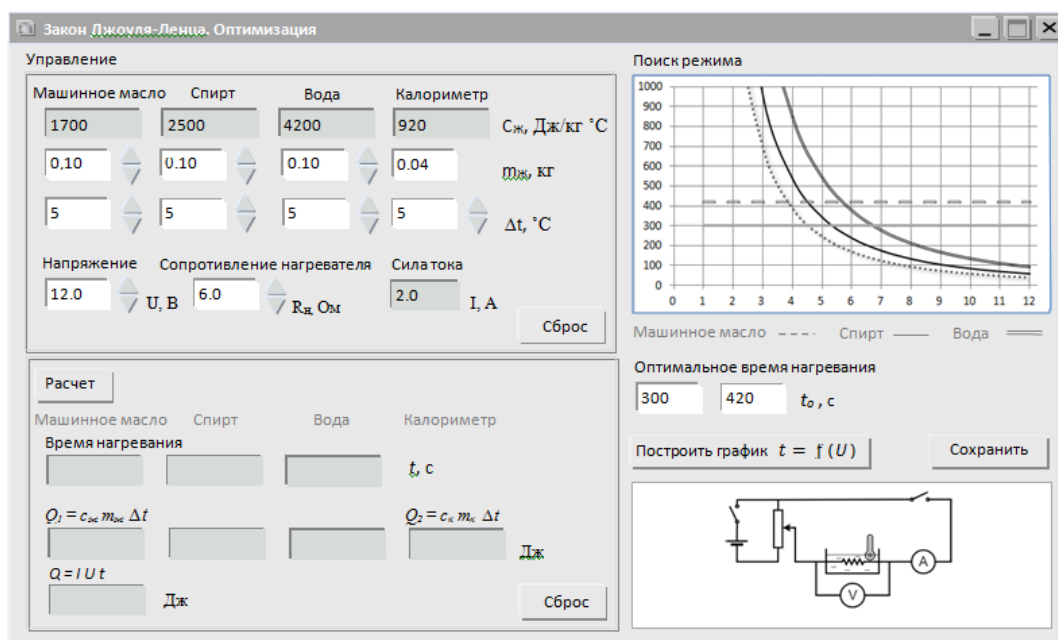


Рис.6. Компьютерная модель (УВЛЭ) физического эксперимента «Закон Джоуля-Ленца»: режим компьютерного эксперимента

Используя классический интерфейс, учащийся при определении и перепределении переменных параметров модели может сразу видеть результаты расчетов и их визуализацию в виде численных значений, таблиц, графиков, диаграмм и пр., а также различных динамических процессов, характеризующих исследуемое явление. Следует отметить, что выполнение компьютерного эксперимента возможно и в работе с интерфейсом симулятора, однако в этом случае такая работа будет весьма продолжительной и трудоемкой.

Применение симуляций вида УВЛЭ в режиме компьютерного эксперимента при условии их достаточного разнообразия позволяет продемонстрировать учащимся весь комплекс методологических функций КС: *гностических, интегрирующих и регулятивных* (п. 1.2.2, с. 40–45). Данные, полученные в ходе компьютерного эксперимента, носят гипотетический характер и подлежат проверке в лабораторном физическом эксперименте. Перед проведением компьютерного эксперимента известные численные характеристики протекания явления могут использоваться учащимися для предварительного тестирования КС УФЭ на корректность ее работы.

Работа в режиме компьютерного эксперимента обеспечивает: 1) формирование представлений о данном методе исследования физических явлений; 2) приобретение первичного опыта работы с «готовыми» компьютерными симуляциями как инструментом познания, включая освоение практики их предварительного тестирования. Описание учебной КС вида УВЛЭ в указанных выше режимах приведено в приложении 1 (1.6, с. 250–273) на примере разработки компьютерной симуляции УФЭ по теме «Закон Джоуля-Ленца» (10 класс).

Компьютерные симуляции вида УВЛЭ особенно полезны для учащихся, изучающих физику на базовом уровне. В этом случае школьниками не только закрепляются умения и навыки выполнения физического эксперимента, но осваивается метод компьютерного моделирования, в части связанной с этапом выполнения *компьютерного эксперимента*. Наличие возможности переключения интерфейсов является весьма удобным для организации уровневой работы учащихся с такой компьютерной симуляцией. При затруднении в работе с абстрактным интерфейсом учащийся всегда может перейти в режим симулятора («скрытый» вычислительный эксперимент). Планирование компьютерного эксперимента с использованием режима симулятора, как правило, вызывает у учащихся меньше затруднений. Соотнесение порядка работы на одной модели в двух режимах помогает учащимся осознать факт общей логики планирования компьютерного и физического экспериментов.

Разработка компьютерных симуляций УФЭ вида УВЛЭ, базирующихся на несложных математических моделях с аналитическим решением, не является в настоящее время сложной для студентов технологической задачей, хотя в большинстве случаев весьма трудозатратна. Наибольшую сложность в их создании, как правило, составляет решение задач методического характера.

Методологические, научно-методические и технологические основы проектирования моделей вида УКСЛЭ и УВЛЭ/УВНЭ образуют знания:

- 1) теории и методики изучения физических явлений, исследование которых планируется организовать с применением компьютерных моделей УФЭ [91, 124, 140, 141];
- 2) методологии физического эксперимента [84, 150, 153, 160];
- 3) методики формирования у учащихся экспериментальных умений и особенностей ее реализации в виртуальной среде [105, 153, 165, 166];
- 4) методологии компьютерного моделирования [47, 51, 63, 85, 66, 87, 96, 89, 111, 122, 130];
- 5) методики формирования у учащихся умений в области компьютерного моделирования, связанного: а) с разработкой и исследованием компьютерных моделей физических явлений (*профильный уровень обучения*); б) планированием и выполнением компьютерного эксперимента с использованием «готовых» симуляций (*базовый уровень обучения*) [12, 35, 66, 73, 96, 104, 127, 131];
- 6) особенностей проектирования интерфейса учебных КС, ориентированного на реализацию их методологических и дидактических функций [1, 2, 4, 5, 8, 12, 57, 92, 104];
- 7) основы методики разработки содержания и технологий создания цифровых дидактических материалов для самостоятельной работы учащихся с компьютерными моделями [4, 5, 6, 8, 9, 12, 14, 26, 92, 104].

В составе приведенных научно-методических публикаций и учебных пособий по указанным направлениям подготовки представлены, в том числе, и наши работы.

Базовую составляющую указанного комплекса знаний и начальный опыт соответствующей профессиональной деятельности будущие учителя приобретают в курсах общей и теоретической физики, вычислительной физики, информатики и информационных технологий, а также при изучении комплекса методических дисциплин, связанных с преподаванием физики и информатики

в средней школе. Однако, как показывает практика, уровень данной подготовки не обеспечивает достаточную степень готовности студентов к успешному применению КС в обучении. Необходимы систематизация и обобщение базовой фундаментальной и методической подготовки студентов, ее обогащение новым содержанием. Важной является практическая составляющая данной подготовки, а именно формирование у будущих учителей опыта самостоятельной разработки учебных КС и проектирования занятий по физике с их применением. Решение этих задач целесообразно осуществлять в рамках специальных методических дисциплин и/или курсов по выбору на заключительном этапе обучения в вузе. Содержание и методика этой подготовки на примере разработки и применения в обучении физике компьютерных симуляций УФЭ рассматриваются в главе 2 настоящей диссертации.

Выводы по главе 1

1. Выполнен анализ компьютерной симуляции в ее методологическом (отношение «субъект-объект») и эпистемологическом (отношение «объект-знание») контекстах. Раскрыто содержание конструктивной и инструментальной составляющих данного метода. Обоснована необходимость включения компьютерной симуляции в систему методов учебного познания при изучении курса физики в средней школе.

2. Дана оценка состояния проблемы применения компьютерных симуляций в учебном процессе по физике в средней школе. Выявлены факторы, препятствующие успешности ее решения, одним из которых является недостаточный уровень подготовки будущих учителей в данном направлении.

3. Обозначен комплекс научно-методических задач, связанных с разработкой содержания профессиональной подготовки будущих учителей физики к применению КС в обучении. Предложены варианты их решения, а именно:

3.1. Уточнена структура компьютерной симуляции как метода учебного познания для его применения в курсе физики в средней школы.

3.2. Раскрыто содержание *методологических функций* компьютерных симуляций. Определена система *дидактических функций* учебных КС.

3.3. Разработана модель включения компьютерной симуляции в учебный процесс по физике в средней школе, определяющая его освоение учащимися как *объекта* познания, *инструмента* (метода) познания и *средства* обучения. Определены ее особенности на базовом и профильном уровне обучения.

3.4. Сформулирован комплекс типовых методических задач, которые должен уметь решать будущий учитель физики по реализации предложенной модели обучения, включая задачу разработки авторских учебных компьютерных симуляций и практики их применения в обучении.

3.5. Одним из объектов разработки определена компьютерная симуляция учебного физического эксперимента (УФЭ). По итогам исследования: а) определены виды компьютерных симуляций УФЭ, дана их характеристика, раскрыты особенности разработки и практики применения в обучении; б) уточнен методологический функционал «готовых» компьютерных симуляций УФЭ; построена система их дидактических функций; в) раскрыты возможные негативные следствия применения в обучении. Компьютерные симуляции УФЭ могут использоваться и как дополнительное средство освоения учащимися методологии физического эксперимента, и как метод исследования моделей проектируемых физических экспериментов, поиска и выявления оптимальных режимов их постановки и проведения.

4. Обучение будущих учителей физики разработке и применению в предметном обучении авторских компьютерных симуляций УФЭ обозначено как одно из направлений их эффективной подготовки к *продуктивной профессиональной деятельности* в рассматриваемой области педагогической практики. Определена система методологических, научно-методических и технологических знаний в содержании данной подготовки.

ГЛАВА 2. ПРОДУКТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНЦИИ БУДУЩЕГО УЧИТЕЛЯ ФИЗИКИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРИМЕНЕНИИ В ОБУЧЕНИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИМУЛЯЦИЙ

2.1. Методологическая составляющая профессиональной подготовки будущих учителей к разработке и применению в обучении физике компьютерных симуляций

Согласно компетентностной модели обучения ФГОС ВО выпускник педагогического вуза должен быть готов не только к организации учебно-воспитательного процесса с применением современных форм, методов и средств обучения, но и к участию в разработке основных и дополнительных программ образования, а также к самостоятельному проектированию их отдельных компонентов, в том числе с использованием информационно-коммуникационных технологий [152]. Условием успешного применения ИКТ в решении данных задач является наличие у учителя-предметника соответствующих ИКТ-компетенций: *общепользовательской, общепедагогической и предметно-педагогической*. Последняя отражает его профессиональную ИКТ-компетентность в предметной области знаний [114, с. 5]. При этом, как справедливо отмечает Б. Е. Стариченко, «...содержание ИКТ-подготовки должно определяться из понимания состояния современных информационных технологий, которые могут быть использованы в образовательном процессе, а также перспектив их развития» [134, с. 6].

Непрерывное совершенствование информационных технологий и его высокие темпы являются факторами, определяющими необходимость перманентного обновления содержания трудовых функций педагогических работников. Актуальное содержание этих обновлений связано с особенностью третьего (текущего) этапа цифровизации системы образования [8, с. 13]. Ключевой целью этого этапа в соответствии с проектом «Цифровая школа» (2018–2025 гг.)

является обеспечение *цифрового сопровождения различных видов учебной работы школьников и их социальной практики* [146].

Разработка цифровых средств сопровождения учебной деятельности есть результат консолидации усилий специалистов разных профилей. При этом рост объема и разнообразия этих средств существенно зависят от развития доступных технологий проектирования объектов виртуальной среды и наличия современной аппаратной техники, которыми может воспользоваться самый «массовый и заинтересованный разработчик» – учитель, преподаватель вуза, педагог дополнительного образования. Их привлечение к разработке компонентов ЦОС является не только фактором, обеспечивающим нарастание темпов ее ресурсного наполнения, но и условием формирования нового поколения педагогов и преподавателей, ориентированных на инновационное обновление системы цифровых средств обучения [8, с 35].

Заинтересованность учителей в создании и применении авторских электронных образовательных ресурсов (ЭОР) обнаружила себя с момента появления первых инструментов для их проектирования (MS PP, графические редакторы, фото- аудио- и видеоредакторы, математические пакеты, образовательные on-line сервисы и т.п.). Цифровая образовательная среда практически сразу стала стремительно наполняться авторскими работами педагогов. С ростом технологической доступности компьютерных инструментов разработки ЭОР активность учителей в данном направлении закономерно увеличивалась. В настоящее время эта деятельность приобрела практически массовый характер. Анализ результатов анкетирования учителей-предметников позволил выявить ее основные мотивы. К ним относятся: 1) потребность в новых более эффективных средствах обеспечения учебного процесса; 2) реализация индивидуального стиля профессиональной деятельности; 3) создание и накопление авторских ЭОР как способ рационального хранения и совершенствования педагогического опыта, а также обеспечения авторских методик обучения; 4) стремление к самореализации и самовыражению через процесс самостоятельного

создания ЭОР; 5) наконец, профессиональный научно-методический интерес к работе с новым педагогическим инструментарием.

Объектами цифрового творчества учителей является весьма широкий состав видов ЭОР. Чаще всего при их создании учителем выполняется цифровая репликация уже известных средств обучения. Именно поэтому такими популярными в цифровом педагогическом творчестве стали: учебные презентации взамен записей и рисунков на доске; анимации; авторское видео; цифровые дидактические материалы, включающие преимущественно тексты и статичные иллюстрации, а также цифровые тесты. Этот факт отмечается в исследовании А. С. Чирцова [162, с. 4]. Качество таких ресурсов не всегда является высоким как с точки зрения технологии реализации, так и в отношении их научно-методического содержания. Это вполне ожидаемый результат, который свидетельствует о том, что деятельность по созданию ЭОР даже традиционного ряда не должна быть стихийной. В этой связи одна из актуальных задач преподавателей педагогических вузов заключается в том, чтобы подготовить будущих педагогов не только к применению в учебном процессе цифровых средств обучения, но и обеспечить формирование у них базовых знаний и умений их самостоятельной разработки.

2.1.1. Методология педагогической практики как объект освоения в содержании подготовки будущего учителя физики

Решение задачи подготовки будущих учителей к разработке и применению в обучении авторских ЭОР связывается не только с вооружением их специальными технологическими и методическими знаниями и умениями. Направленность создаваемых ресурсов на сопровождение различных видов учебной деятельности определяет необходимость наличия у учителя соответствующей *профессиональной методологической подготовки*. Ее формирование базируется на освоении студентами: 1) методологии деятельности предметной области знания (физики), для обеспечения (сопровождения/замещения) которой создается ЭОР; 2) методологии разработки ЭОР с учетом разнообразия

относящихся к предметной области их типов и видов; 3) методологии проектирования педагогической практики с применением данных ЭОР; 4) методологии смежных наук, результаты которых, так или иначе, применяются в преобразовании предметной практики обучения.

В рамках настоящего исследования объектом рассмотрения являются аспекты методологической подготовки студентов в области физики, информатики и информационных технологий, а также в области методологии педагогической практики, связанные применением в обучении физике в средней школе компьютерного моделирования. В учебных пособиях и научных публикациях достаточно полно освещены общие вопросы методологической подготовки обучающихся в области физической науки [65, 68, 81, 153, 160, 168 и др.], методологии математического и компьютерного моделирования, включая моделирование физических процессов [17, 36, 47, 51, 54, 59, 63, 66, 70, 73, 85, 87, 89, 96, 111, 122, 130 и др.]. Методологические аспекты проектирования предметной виртуальной среды и компьютерных симуляций по физике в ее составе находятся в стадии активной разработки и рассматриваются в работах [1, 2, 4, 5, 6, 8, 12, 14, 21, 23, 24, 27, 28, 43, 57, 92, 104, 136, 162 и др.].

Содержание подготовки студентов педвузов *в области методологии педагогической практики* не столь однозначно. Это связано с различиями в трактовке понятия «методология педагогики». Обозначим подход к толкованию данного понятия, реализуемый в настоящем исследовании.

В последние три десятилетия в составе методологии педагогики стали выделять две составляющие: *методологию научно-педагогического исследования* и *методологию педагогической практики* (деятельности). В последней в качестве ее предмета обозначается поиск и определение стратегических ориентиров, общих подходов и принципов проектирования и осуществления педагогического процесса на основе современного научно-педагогического знания (М. С. Бургин) [38, с.74], формирование управленческих предписаний для разработки научно-обоснованной технологии конкретной педагогической деятельности (В. И. Журавлев [56, с.115]).

Выделение в структуре методологии педагогики такой составляющей как методология педагогической практики (МПП) остается предметом дискуссий с начала 90-х гг. прошлого столетия. Развернутый анализ позиций исследователей по этому вопросу дан в работах Е. В. Титовой и Н. Л. Коршуновой. Авторы приходят к выводу, что указание на наличие этой составляющей в структуре методологии педагогики является вполне обоснованным. Поддерживая позицию М. С. Бургина, Е. В. Титова отмечает, что значимость МПП состоит в изучении связей педагогики с ее предметной областью – педагогической практикой [143]. «Методология не должна заниматься внедрением научных результатов, но в круг ее задач входит определение путей внедрения, общих подходов и принципов реализации таких процессов» [38, с.75]. Это учение о методах преобразования педагогической действительности. Объектом изучения МПП является работа воспитателей и преподавателей, деятельность учащихся, а также учебно-воспитательные процессы и системы (М. С.Бургин) [38, с.76].

Н. Л. Коршунова, указывая на наличие практического контекста в толковании понятия «методология педагогики», предлагает уточнить его определение, сформулированное ранее М. А. Даниловым и В. В. Краевским [79, с.169]. Методология педагогики – это « ... система знаний об основаниях и структуре педагогической теории, о принципах, подходах и способах добывания знаний, отражающих педагогическую действительность, и их использования в практике, а также система деятельности по получению таких знаний и обоснованию программ, логики и методов, оценке качества специально-научных педагогических исследований» (выделено нами – Д.А.) [75, с. 50]. Уточнение состоит в добавлении в исходное определение фразы, отмеченной курсивом. Методология педагогики в этом случае по-прежнему соотносится с научной деятельностью, но при этом « ... не ограничивается рамками научного исследования, а охватывает рефлексией более широкий контекст, включая в него процедуру использования педагогического знания, что вызывает потребность ее специального изучения, а также изучения принципов и способов

применения научно-педагогического знания для решения задач практики образования» [75, с. 50].

В контексте обновленной трактовки методологии педагогики выполнен ряд важных исследований. В. В. Краевским разработана концепция связи научной и учебной работы преподавателя вуза [78]. Е. В. Бережновой введено понятие «методологическая культура», содержание которого раскрывается как в отношении ученого, так и в отношении педагога-практика. Автором определяются направления применения практикующим педагогом научно-педагогических знаний. Показано, что наиболее полно это реализуется *в условиях проектирования* педагогом-практиком учебно-воспитательной работы [32].

На тот факт, что деятельность в области педагогического проектирования заслуживает в этом контексте особого внимания, обращается внимание в исследовании Н. Л. Коршуновой. Автор доказывает, что проектная работа может быть связана с организацией *новой практики* в сфере образования и представляет собой в этом случае особый, интегративный вид педагогической деятельности, сочетающий в себе ее теоретические (исследовательские) и практические аспекты [75, с. 53]. Педагог в этих условиях сталкивается с необходимостью обращения к научно-педагогическому знанию (преимущественно в готовой форме) и к его методологической составляющей в целях обоснования собственной профессиональной деятельности. При этом педагогическое знание, как правило, используется учителем не в прямом, а в преобразованном виде, что не исключает в принципе возникновения элементов его дальнейшего развития. В отношении методологии интересы учителя чаще связаны поиском ответов на вопросы: какие виды педагогического знания существуют, какова их структура, что такое научно-педагогическое обоснование, каковы источники и методы такого рода обоснований и т.п.

На основе анализа позиций исследователей относительно содержания методологии педагогической практики как составляющей методологии педагогики, могут быть определены ее объект и предмет. Если *объектом* МПП является профессиональная деятельность учителей, преподавателей, воспитателей,

то ее *предмет* образуют стратегические ориентиры, общие подходы и принципы и проектирования педагогической практики на основе современного научно-педагогического знания, а также способы и нормы их применения педагогом в решении задач ее преобразования (совершенствования).

Две составляющие методологии педагогики – методология научно-педагогического исследования и методология педагогической практики – имеют место и в смежных науках, на которые опирается педагогика (в философии, социологии, психологии и др.). Эти составляющие, отмечает Г. И. Саранцев, представлены и в составе *предметных методик обучения* как научных дисциплинах [123, с. 17]. Предмет методологии педагогической практики в рамках преподавания конкретной методической дисциплины, как представляется, связан с *рассмотрением принципов, способов и норм применения научного знания (специального, педагогического, методического) в решении задач преобразования учебного процесса по предмету, анализом обобщенных регулятивов проектирования и реализации этих преобразований.*

Творчески работающий учитель обращается к современному знанию не только в случае выполнения инновационной проектной деятельности, но и при решении текущих профессиональных задач в каждодневной педагогической практике. Соединение имеющегося педагогического опыта и стремления к освоению современного научно-педагогического знания, совершенствование своей методологической культуры, связанной с его применением, являются условием не только результативности педагогической практики учителя. Проектируемые педагогом в этом случае модель учебного процесса и технология ее реализации приобретают фактически статус гипотезы, которая проверяется в ходе его ежедневной профессиональной работы, а сопровождающая данную деятельность рефлексия, обеспечивает возможность получения объективно (или субъективно) нового педагогического знания. Важным «выходом» этой деятельности может быть становление педагога-новатора [148, 149].

В рамках настоящего исследования представляет интерес задача обращения будущих учителей к современному научно-педагогическому знанию в ходе

их проектной деятельности, включающей разработку и применение в обучении физике компьютерных симуляций. Организация самостоятельной продуктивной деятельности по разработке учебных компьютерных симуляций и проектированию учебного процесса по физике с их применением – одно из актуальных направлений формирования *профессиональной методологической компетенции* будущих учителей в области преобразования предметной педагогической практики (совершенствования, обновления).

2.1.2. Состояние проблемы методологической подготовки будущих учителей в области проектирования практики применения в обучении физике компьютерных симуляций

Необходимость наполнения цифровой образовательной среды компьютерными симуляциями физических процессов и их применения в обучении как инструментов познания определяется направленностью школьного физического образования на освоение обучающимися системы современных методов научного поиска и формирование у них готовности к их применению в исследовании явлений природы. Компьютерное моделирование должно стать неотъемлемым звеном этой системы. Как осуществляется в настоящее время подготовка будущих учителей в области методологии практической педагогической деятельности, связанной с применением в обучении физике компьютерного моделирования?

Первые научно-методические работы в области обучения компьютерному моделированию физических процессов были связаны преимущественно с обучением *студентов классических университетов и технических вузов* (Е. И. Бутиков [40] С. М. Козел, М. М. Соболева [70], Д. В. Баяндин, О. И. Мухин [28], А. С. Чирцов [163] и др.). Закономерным результатом этой деятельности к концу 90-х гг. прошлого столетия явилось издание ряда учебных пособий, в которых излагались основы теории компьютерного моделирования и ее применение в решении конкретных физических задач. Были

разработаны сопровождающие работу студентов с данными пособиями соответствующие программно-педагогические средства.

В начале 2000-х гг. исследования в этом направлении стали оформляться в виде диссертационных работ (О. Г. Ревинская (2006) [116]; В. А. Стародубцев (2007) [137]; Д. А. Саватеев (2007) [121], В. В. Ларионов, (2008) [83]; Е. И. Постникова (2009) [113], Ю. Р. Мухина (2012)[93], А. С. Чирцов (2014) [162] и др.). По завершению ряда исследований к учебным курсам по физике (общей, теоретической) были разработаны виртуальные практикумы, включающие работу студентов с компьютерными моделями физических процессов. Выполненный В.А. Стародубцевым анализ авторских разработок программного обеспечения таких практикумов позволил ему сделать вывод о том, что в большинстве из них «... используются объяснительно-дескриптивные модели, ориентированные на раскрытие физического смысла исследуемых явлений...» [137, с.12]. Автор отмечает, что такое традиционное объяснительно-иллюстративное понимание роли компьютерных практикумов вступает в противоречие с задачей совершенствования методологической подготовки будущих специалистов. Целью таких практикумов в естественнонаучном образовании, подчеркивает В.А.Стародубцев, должна быть не столько иллюстрация теоретической сущности изучаемых явлений, сколько их самостоятельное исследование средствами компьютерного моделирования, в состав которых входят и «готовые» компьютерные модели, и инструменты для их создания. Следует отметить, что в ряде работ исследовательский подход к обучению студентов компьютерному моделированию, тем не менее, реализуется. (В. В. Ларионов [83], С. Е. Попов [111], А. С. Чирцов [162] и др.)

Теория и практика обучения студентов компьютерному моделированию физических процессов практически в синхронном режиме проецировалась в ее адаптированном варианте на учебный процесс *системы общего среднего образования*. Первые решения в этом направлении на рубеже 20-го и 21-го столетий были связаны с разработкой учебных пособий по компьютерному моделированию для учащихся средних школ, осваивающих курс физики на углубленном

уровне (Э. В. Бурсиан [39], А. С. Кондратьев, В. В. Лаптев [72], Г. А. Бордовский, И. Б. Горбунова, А. С. Кондратьев [37], А. А. Белоусов, А. И. Ходанович [29] и др). Однако легкого переноса наработанного опыта в школьную практику не получилось, Одной из причин являлась неготовность учителей физики к решению этой задачи. Потребовалась разработка для учителей физики методики организации данной учебной деятельности. Это стимулировало начало выполнения диссертационных исследований. Авторами этих работ обсуждаются различные аспекты подготовки учащихся средней школы в области компьютерного моделирования физических процессов (И. М. Нуркаева (1999) [99], Н. Б. Розова (2002) [118], А. И. Ходанович (2003) [158], Е. С. Кошечева (2003) [76], О. Е. Макарова (2003) [88], А. А. Финагин (2004) [154], Л. Х. Умарова (2005) [147], М. И. Старовиков (2006) [135], Р. А. Матвеев (2008) [90] Е. А. Кириченко (2011) [67], О. В. Заковряшина (2014) [58]. С. Б. Рыжиков (2014) [120], Л. В. Тищенко (2018) [144]). Обзор данных исследований и выводы по его результату приведены в *приложении 2* (2.1, с. 279–288). Ниже представлено резюме данного обзора, содержание которого является принципиально важным для обоснования актуальности избранных в настоящем исследовании направлений решения поставленной проблемы.

1. Авторами диссертационных исследований дана однозначно положительная оценка значимости включения в содержание предметной подготовки учащихся по физике компьютерного моделирования как метода научного познания. В работе А. И. Ходановича [158] методика преподавания основ вычислительной физики рассматривается как составная часть методики обучения физике, а учебный вычислительный эксперимент как эффективное средство реализации в школьной практике педагогической концепции учебной модели научного исследования.

2. Исследователями традиционно подчеркивается важность применения «готовых» компьютерных симуляций с целью освоения учащимися материала сложных учебных тем и рассматриваются вопросы методики этой работы (по молекулярной физике – Н. Б. Розова, О. Е. Макарова, по электродинамике –

Е. С. Кошечева, Р. А. Матвеев). К не менее важным задачам отнесена разработка методики формирования у учащихся исследовательских умений в области компьютерного моделирования. С этой целью подготовлены циклы лабораторных работ с «готовыми» компьютерными симуляциями (Е. С. Кошечева, М. И. Старовиков). Предпринята попытка описания процедуры работы учащихся с «готовой» КС. Обсуждается возможность выполнения учащимися полного цикла компьютерного моделирования, включающего самостоятельную разработку КС физических процессов с последующим проведением компьютерного эксперимента (А. И. Ходанович, Е. С. Кошечева, А. А. Финагин, М. И. Старовиков, О. В. Заковряшина). Подчеркивается, что только в этом случае обеспечивается эффективность обучения основам компьютерного моделирования (А. А. Финагин) [154].

3. Как особо ценные следует отметить попытки представить в содержании разработанных методик обучения некие *общие ориентиры формирования представлений учащихся о компьютерном моделировании* как методе познания и организации их деятельности по его освоению. К таким ориентирам могут быть отнесены: а) логика управления познавательной деятельностью учащихся в работе с компьютерными моделями (И. М. Нуркаева); б) этапы совместной деятельности учителя и учащихся с компьютерными моделями и этапы работы самостоятельной работы учащихся с моделью при ее исследовании (О. Е. Макарова); в) обобщение методических приемов обучения решению физических задач на компьютере с использованием вычислительного эксперимента (А. И. Ходанович); г) требования к упражнениям в решении физических задач, основанным на модельных компьютерных экспериментах (Л. Х. Умарова); д) обобщенные планы компонентов учебно-исследовательской деятельности учащихся в ходе схематехнического моделирования (Е. С. Кошечева); е) направления применения вычислительного эксперимента на учебных занятиях разных форм (уроках решения задач, в лабораторных работах практикума), а также при организации внеучебной проектной деятельности учащихся (А. А. Финагин); ж) условия и приемы интеграции физического и виртуального экспериментов;

требования к компьютерным моделям имитационного физического эксперимента и этапы работы учащихся с «готовыми» моделями этого вида (О. В. Заковряшина); 3) виды учебного вычислительного эксперимента для использования в учебном процессе по физике (М. И. Старовиков); этапы обучения школьников компьютерному моделированию (С. Б. Рыжиков).

4. Обозначенные авторами ориентиры организации обучения школьников компьютерному моделированию обладают свойством некоторой универсальности и могут быть использованы учителями физики в исходном или модифицированном виде при проектировании собственной (авторской) технологии организации учебного процесса. Однако разработанные «порознь» как единичные эти ориентиры не являются достаточными по своему составу, не обладают в полной мере целостностью и обобщенностью, не представлены, что важно, как системно организованный комплекс. Тем не менее, это не умаляет их научно-методической значимости. Систематизация и обобщение накопленных знаний о наиболее общих способах, принципах, правилах и нормах включения компьютерного моделирования в учебный процесс по физике в средней школе составляют, на наш взгляд, основу развития содержания и методики соответствующей подготовки будущих учителей-предметников. *Это направление поиска выделено в нашем исследовании как ключевое.*

Какова в настоящее время позиция исследователей по проблеме подготовки студентов педагогических вузов в области методики применения компьютерного моделирования в обучении школьников?

Наибольшая часть диссертационных работ связана с подготовкой будущих учителей информатики (А. В. Могилев, Н. И. Пак, Е. К. Хеннер, А. Л. Королёв, О. С. Маркович и др.). Число исследований, ориентированных на решение проблемы подготовки будущих учителей физики, существенно ниже. При этом в их составе просматриваются исследования по двум направлениям. *Первое* направление связано с подготовкой студентов в области компьютерного моделирования в рамках дисциплин и курсов по общей и теоретической физике, (О. В. Оськина (2000) [106], Р. Ф. Маликов (2005) [89], С. Е. По-

пов (2006) [111, 112], И. И. Хинич (2011) [157]. В. А. Белянин (2012) [30] Д. Ф. Терегулов (2017) [142]), *второе* – с обучением будущих учителей в данном направлении в ходе освоения дисциплин методического цикла (Н. А. Оспенников (2007 г.) [101]. С. А. Смирнов (2009) [129]. Е. С. Шестакова (2010) [167], И. В. Ильин (2013) [64]). Обзор исследований приведен в *приложении 2* (2.2, с. 289). Ниже приведены основные выводы по его результатам.

1. В работах обосновывается необходимость подготовки будущего учителя физики в области компьютерного моделирования. Часть авторов придерживается мнения, что для такой подготовки вполне достаточным является обучение данному методу познания в рамках курсов общей или теоретической физики (В. А. Белянин, И. И. Хинич). Другая часть исследователей настаивает на введении в учебный план для такой подготовки специальных дисциплин (например «Вычислительная физика», «Основы моделирование» и т.п.) или отдельных спецкурсов данной направленности (Р. Ф. Маликов, О. В. Оськина, С. Е. Попов). Принципиально важной позицией, отмеченной в ряде исследований, является неразрывность связи обучения студентов компьютерному моделированию с развитием содержания обучения физике и освоением современной методологии физических исследований (С. Е. Попов).

2. Авторами отмечается необходимость реализации междисциплинарных связей в процессе фундаментальной подготовки (физики, математики, информатики) при формировании у студентов опыта компьютерного моделирования физических процессов. При этом содержание этих связей с дисциплиной «Методика обучения физике» практически не рассматривается, имеет место лишь упоминание об их необходимости.

3. В большинстве случаев считается, что освоение опыта компьютерного моделирования в курсах общей и теоретической физики, а также в рамках спецкурсов автоматически обеспечивает готовность выпускника педвуза к обучению данному методу учащихся средней школы. (С. Е. Попов, О. В. Оськина, И. И. Хинич). Высказывается мнение, что будущим учителям по причине недостаточного уровня их технологической подготовки не следует

практиковаться в разработке учебных компьютерных симуляций физических процессов для их последующего применения в средней школе (Н. Б. Розова) [118, с. 4]. Этой же позиции придерживается С. Е. Попов [111, с. 67].

Ряд исследователей имеют иную точку зрения (Д. В. Баяндин, О. И. Мухин [20, 25, 28], Е. В. Оспенникова [104, 8, 14] и др.). Есть основание утверждать, что студенты, овладевшие на базовом уровне опытом компьютерного моделирования, вполне способны самостоятельно создавать рабочие прототипы учебных компьютерных симуляций разных видов и жанров. Это подтверждается результатами ряда диссертационных исследований (И. В. Ильин [64], Н. А. Оспенников [101], Е. С. Шестакова [167]).

Возможность и необходимость обучения учителей созданию ЭОР обосновывается в докторской диссертации О. В. Насс [94]. Автор подчеркивает важность приобретения учителями такого опыта для обеспечения *авторских методик обучения*. Разработки студентов и учителей в ряде случаев отличаются оригинальными идеями. Нередко в таких проектных работах графика, интерфейсные решения и дидактический потенциал компьютерных симуляций превышают по качеству аналогичные решения, реализованные некоторыми профессиональными командами разработчиков. Однако для получения устойчивого образовательного результата в создании учебных КС необходимо целенаправленное обучение студентов решению этой задачи как в рамках дисциплин фундаментальной предметной подготовки, так и при освоении дисциплин методического цикла. Такой подход к обучению обеспечивает в комплексе *методологическую* (общую и специальную), *инструментально-технологическую* и *предметно-методическую* подготовку выпускников педагогического вуза в данном направлении. Есть основания полагать, что существенное влияние на рост уровня профессиональной методологической подготовки будущих учителей физики в этой сфере педагогической практики будет оказывать их работа по созданию авторских компьютерных симуляций для учебного процесса по физике в средней школе. В этом случае наряду с совершенствованием опыта в области *методологии компьютерного моделирования* физических процессов

будет обеспечиваться освоение студентами основ *методологии педагогической практики* включения данного метода в учебный процесс по физике.

5. Представляет научно-методический интерес *методологическое сопровождение* самостоятельного решения студентами задач в области проектирования учебных компьютерных симуляций и практики их включения в учебный процесс по физике. С целью такого сопровождения могут быть использованы *стратегии, принципы, структуры, конструкты, схемы* и прочие разновидности обобщенных ориентиров проектирования и применения учебных компьютерных симуляций в обучении. Как отмечалось выше, попытки выделить некоторые из этих ориентиров уже имеют место в педагогических исследованиях. Обладая достаточной степенью целостности и обобщенности, такие ориентиры являются *методологическим инструментарием* воплощения в конкретный проект какой-либо авторской идеи (замысла) реализации педагогической практики. Содержание и особенности применения этого инструментария демонстрирует нам принципиальное отличие *методологии педагогической практики* как средства преобразования, развития, создания нового педагогического опыта и обобщающего его педагогического знания от *методики* как конечного педагогического продукта, предназначенного для потребления (т.е. реализации, внедрения). Существенными характеристиками такой проектной деятельности студентов, базирующейся на *методологических регулятивах*, являются ее продуктивность и творчество.

2.1.3. Методологические регулятивы как инструменты самостоятельного проектирования студентами практики применения в учебном процессе по физике компьютерных симуляций

Усиление методологической направленности подготовки студентов к применению КС в обучении физике в средней школе, связанное с освоением на *концептуальном* и *процессуальном* уровнях методологического инструментария проектирования этого процесса, – залог их будущего профессионального

творчества и успешной самореализации. Такой опыт проектной деятельности может составить основу профессиональной специализации учителя в области разработки ЭОР. Это определяет актуальность проблемы определения состава и содержания методологических ориентиров, направляющих деятельность учителя в познании и преобразовании учебного процесса в указанном направлении.

Методология педагогической практики (МПП) базируется на *структурно-системных, структурно-содержательных и структурно-процессуальных регулятивах* ее преобразования. Данные регулятивы, введенные в содержание обучения, способствуют систематизации и обобщению специальных предметных, педагогических и методических знаний студентов, определяют направления их дальнейшего совершенствования (расширения, уточнения, конкретизации), образуют ориентировочную основу проектирования обновленной практики обучения, а также могут служить инструментом самооценки выпускником уровня его готовности к инновационной профессиональной деятельности [149]. По выражению В. М. Розина, «методологически оснащенные мышление и деятельность» являются более эффективными: *содержательными, продуктивными и современными* [117].

Состав и взаимосвязи элементов каждого регулятива определяют общую стратегию, структуру и логику проектирования учителем педагогической практики. При этом за педагогом сохраняется возможность творческого подхода к реализации этой стратегии, самостоятельного определения модификаций структуры и логики конкретного учебного процесса, а также выбора методов и средств его обеспечения, адекватных поставленным целям и имеющимся условиям их достижения.

В ходе настоящего исследования разработан комплекс методологических регулятивов профессиональной практической деятельности учителя физики, связанной с проектированием компьютерных симуляций и практики их применения в обучении. Состав комплекса образуют методологические регулятивы *общего и специального* назначения, содержание которых определяется особенностями объекта проектирования.

Объект проектирования: компьютерные симуляции учебного физического эксперимента видов УКСЛЭ (учебный компьютерный симулятор лабораторного эксперимента), УВЛЭ (учебный виртуальный лабораторный эксперимент) и практика их применения в обучении физике учащихся средней школы (базовый уровень предметной подготовки).

Назначение: 1) формирование у учащихся средней школы при изучении курса физики представлений о компьютерном моделировании как методе познания, включая осознание его места в системе современных методов научного поиска, его общей структуры и познавательных функций; приобретение начального опыта проведения компьютерного эксперимента с использованием «готовых» компьютерных симуляций УФЭ вида УВЛЭ; 2) применение моделей УФЭ вида УКСЛЭ как средства дидактического сопровождения практики освоения учащимися методологии физического эксперимента и обеспечения дополнительных условий для закрепления и расширения их опыта экспериментального изучения явлений природы; 3) демонстрация общей логики компьютерного и физического экспериментов, их взаимосвязи в научном познании.

Ниже приведено содержание регулятивов комплекса.

Регулятив 1. Структура современного научно-педагогического знания и педагогического поиска. Это общий (исходный) регулятив, в опоре на который начинается работа педагога-практика по изучению и анализу современного научно-педагогического знания. Цели этой работы: 1) поиск основной идеи, обеспечивающей достижение поставленной цели – разрешения выявленных противоречий педагогического процесса; 2) построение первоначального теоретического обоснования выдвинутой идеи (замысла), 3) подготовка к выбору (формированию) методологического подхода к проектированию обновленной педагогической практики на основе обозначенного замысла.

Этот регулятив представлен в форме модели структуры педагогического знания (табл. 5). Модель построена на основе анализа и обобщения подходов исследователей к выявлению основных элементов педагогического знания (В. С. Безруковой, С. В. Бобрышева, Р. В. Гуриной, Г. И. Ибрагимова,

В. В. Краевского, Н. А. Лызь, А. К. Мынбаевой, Н. С. Пурьшевой и др.). Особенность данной модели состоит в том, что в ней указаны основные элементы педагогического знания и связи между ними в соотношении с уровнями и этапами научного познания. Через «призму» предложенной структуры педагогического знания студентом может быть выполнен анализ результатов конкретных педагогических исследований, определен их научный статус, потенциал и возможные направления использования в педагогической практике.

Таблица 5

**Регулятив 1. Элементы научно-педагогического знания
в системе уровней и этапов научного познания**

Эмпирический уровень педагогического познания		
<i>Этапы и методы познания</i>	<i>Элементы эмпирического педагогического знания</i>	<i>Функции этапа</i>
1	2	3
Сбор фактов – результатов педагогического опыта (<i>педагогической практики: наблюдений, экспериментов</i>)	Педагогические факты Педагогические понятия , обозначающие педагогические явления Противоречия педагогической практики	Фиксация и первичное описание педагогических явлений с применением имеющейся системы педагогических понятий. Обнаружение <i>противоречий</i> между актуальными задачами регулятивного воздействия на педагогические явления и недостаточностью имеющихся способов такого воздействия или их невысокой результативностью. Формулировка педагогической проблемы.
Систематизация фактов: – классификация – квантификация – структурирование – периодизация, – ранжирование – и др. Обозначение (именование) отдельных педагогических явлений (<i>введение понятий</i>).	Системы педагогических фактов: классификации, иерархии, структуры, периодизации и т.д. Педагогические понятия как обозначения фиксируемых в педагогическом опыте групп однородных явлений (объектов, субъектов, процессов) Педагогические категории как педагогические понятия широкой степени общности	Выделение в ходе педагогической практики (педагогического наблюдения, эксперимента) общих и существенных признаков педагогических явлений. Выбор способа систематизации педагогических явлений, построение их однородных групп, иерархий, структур и т.п. Формирование понятийного аппарата для их описания. в том числе с использованием известных педагогических понятий и категорий.

1	2	3
Выявление и обозначение (именование) групп явлений с общими существенными признаками (<i>введение понятий</i>)	Модель педагогического явления (дескриптивная: структурная и/или динамическая)	Выбор педагогического явления для изучения (исследования). Построение его эмпирической описательной (дескриптивной) модели с использованием научных понятий и категорий.
Обобщение педагогических фактов (выявление устойчивых связей «фактор – явление», т.е. установление закономерностей)	Педагогические закономерности , формулируемые в виде эмпирических утверждений – <i>положений</i> и <i>частных принципов</i> , отражающих связи характеристик педагогического явления с факторами влияния. Общие принципы обучения и воспитания как эмпирические закономерности широкой степени общности	Выявление факторов, влияющих на педагогическое явление. Обнаружение закономерных связей «фактор – явление». Анализ соотношений выявленных закономерностей и известных общих принципов обучения/воспитания. Выявление (уточнение) их иерархической взаимосвязи.
Объяснение и предсказание педагогических явлений на основе выявленных закономерностей	Модель воздействия на педагогическое явление (структурная и /или динамическая). Модель педагогического процесса / системы.	Моделирование на основе выявленных закономерностей регулятивного воздействия на педагогическое явление с целью получения искомого образовательного результата Построение на основе эмпирических закономерностей новой педагогической практики (<i>педагогического процесса/системы</i>), реализующей модель регулятивного воздействия на педагогическое явление.
	Методика организации педагогического процесса, включающего целенаправленное воздействие на педагогическое явление. Технология реализации педагогического процесса или функционала педагогической системы, обеспечивающих воздействие на педагогическое явление в заданном поле целей.	Определение методики построения педагогического процесса: <i>эмпирически обоснованных</i> положений, частных и общих принципов, требований к его построению (<i>содержанию, методам, средствам</i>). Разработка технологии педагогического процесса (системы) как <i>эмпирически обоснованной</i> процедуры реализации модели и методики его организации.

1	2	3
		<p><i>Прогнозирование и объяснение конкретных результатов образовательного процесса на основе выявленных эмпирических закономерностей и известных общих принципов обучения /воспитания, в том числе объяснение ранее выявленных противоречий образовательного процесса.</i></p>
<p>Теоретический уровень педагогического познания</p>		
<i>Этапы и методы познания</i>	<i>Элементы структуры педагогической теории</i>	<i>Функции этапа</i>
<p>Построение базиса теории обучения /воспитания или прототеории (т.е. концепции второго рода [53])</p>	<p><i>Эмпирический базис:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – педагогические факты и их системы (классификации, иерархии и т.п.), – эмпирические закономерности, – апробированные эмпирические модели педагогических процессов и систем <p><i>Теоретический базис:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – известные теории обучения / воспитания, прототеории (<i>концепции второго рода</i>); – апробированные педагогические <i>концепции третьего рода</i> [53]; – известные методологические подходы к рассмотрению педагогических явлений. 	<p>Изучение относящихся к предмету исследования: педагогических фактов и их систем, эмпирических закономерностей, апробированных эмпирических моделей педагогических процессов и систем.</p> <p>Обнаружение противоречий между актуальными задачами регулятивного воздействия на педагогическое явление и недостаточностью (низкой эффективностью) имеющихся способов такого воздействия.</p> <p>Определение (ограничение) области изучения педагогического явления, требующей углубленного изучения.</p> <p>Оценка возможностей известных теорий и прототеорий для объяснения явлений исследуемой области и разрешения обозначенных противоречий.</p> <p>Анализ с этой целью апробированных педагогических концепций <i>третьего рода</i>.</p> <p>Определение/выбор методологического подхода (или комплекса подходов) к исследованию педагогических явлений, в том числе определение формы применения данных подходов («мягкой», «жесткой»).</p>

1	2	3
<p>Формирование ядра теории или прототеории (концепции второго рода)</p>	<p>Модель педагогического явления:</p> <ul style="list-style-type: none"> – идеализированный объект теории (<i>концентрированное выражение основной идеи исследования</i>); – понятия, характеризующие идеализированный объект, – принципы, определяющие его поведение. – положения теории, определяющие систему регулятивных воздействий на педагогическое явление исследуемой области и их возможных следствий 	<p>Выявление сущности исследуемых педагогических явлений: их природы, «первопричин», структурных схем, особенностей эволюции (психологических, социальных, физиологических, антропологических и др.).</p> <p>Выдвижение ключевой идеи, введение понятий, принципов, допущений, обеспечивающих целостное осмысление и понимание педагогического явления: его структуры и ее характеристик, схем функционирования и эволюции.</p> <p>Построение теоретической модели педагогического явления исследуемой области в форме <i>интерпретации</i> его сущности.</p> <p>Разработка положений теории, определяющих систему регулятивных воздействий на исследуемое педагогическое явление исходя из интерпретации его сущности.</p>
<p>Получение следствий теории: объяснение и предсказание педагогических явлений, эмпирических закономерностей их протекания</p>	<p>Модель воздействия на педагогическое явление с целью получения искомого образовательного результата (структурная и /или динамическая).</p> <p>Модель педагогического процесса / системы как теоретически обоснованного комплексного воздействия на педагогическое явление.</p>	<p>Прогнозирование на основе <i>интерпретации</i> сущности педагогического явления факторов воздействия. Моделирование системы регулятивного воздействия на педагогическое явление на основе выявленных факторов влияния.</p> <p>Разработка модели педагогического процесса или системы, базирующихся на <i>теоретически обоснованной</i> модели регулятивного воздействия на педагогическое явление.</p>
	<p>Методика организации педагогического процесса, обеспечивающая целенаправленное воздействие на педагогическое явление.</p> <p>Технология реализации педагогического процесса, как описание процедуры регулятивного воздействия на педагогическое явление в заданном поле целей.</p>	<p>Разработка <i>теоретически обоснованной</i> методики построения педагогического процесса (его содержания, методов, средств).</p> <p>Разработка технологии педагогического процесса как <i>теоретически обоснованной</i> процедуры реализации методики его организации.</p>

1	2	3
	<p>Педагогическая концепция третьего рода как форма научно-обоснованного проектирования педагогических процессов и систем.</p>	<p><i>Объяснение и прогнозирование</i> конкретных результатов образовательного процесса на основе <i>теоретической интерпретации сущности</i> педагогического явления.</p> <p><i>Объяснение</i> ранее установленных педагогических фактов и эмпирических закономерностей исследуемой области педагогических явлений, в том числе <i>выявленных противоречий педагогического процесса</i>.</p> <p>Применение отдельных элементов теории в составе теоретико-методологического базиса <i>педагогических концепций третьего рода</i> как форм научно-обоснованного проектирования педагогических процессов и систем.</p>

В *приложении 2* (2.3. с. 293) дана характеристика элементов педагогического знания и отражена взаимосвязь уровней педагогического познания.

Назначение регулятива 1. Как справедливо утверждал К. Линней: «*Если не знаешь названий, то теряется и познание вещей*» [Цит. по 125]. Данный регулятив, базирующийся на систематизации элементов (форм) научно-педагогического знания и определении их научного статуса, служит для будущего учителя ориентировочной основой поиска и анализа содержания конкретных теорий, концепций, подходов, методик и технологий с целью научного обоснования своих авторских проектов, выбора (определения составляющих) методологического подхода к их разработке.

Регулятив 2. Выбор методологического подхода к проектированию педагогической практики. На рисунке 7 представлена логико-графическая визуализация ориентировочной основы выбора (построения) учителем методологического подхода к проектированию обновленной педагогической практике. Комментарий к данной модели приведен в *приложении 2* (2.4. с. 299).

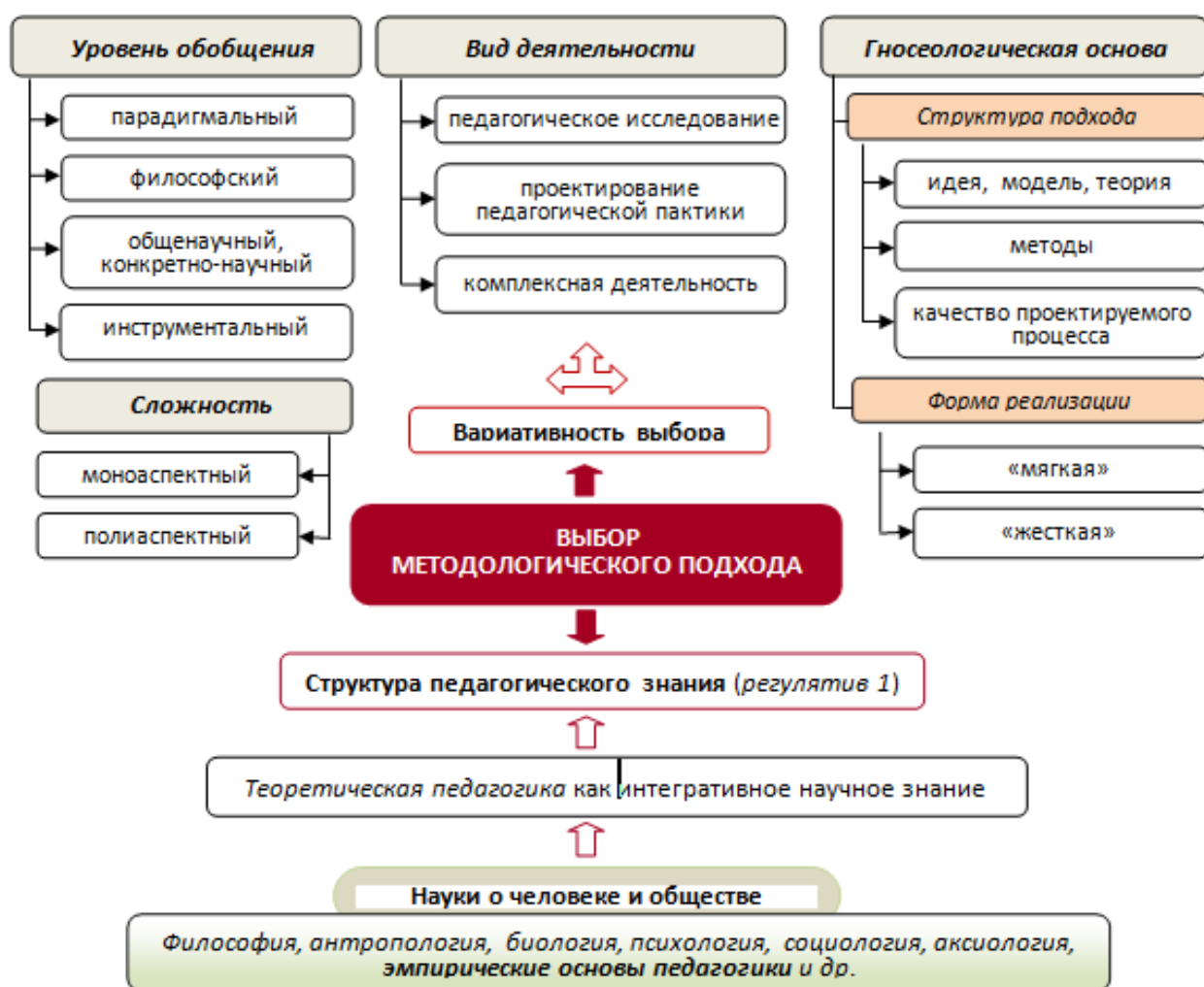


Рис. 7. Регулятив 2. Логико-графическая модель выбора методологического подхода к проектированию педагогической практики

Назначение регулятива 2. Этот регулятив определяет структуру методологического подхода к проектируемой практике, направления поиска (формирования) его составляющих и ориентировку в возможных вариантах построения данного подхода. Выполнение учителем методологических процедур (выбор идей, моделей, теоретических положений, методов и качественных характеристик деятельности) и их объединение в непротиворечивую систему в форме подхода к проектируемой практике обеспечивает фактически ее теоретическое и методологическое обоснование. Опора на этот регулятив стимулирует продуктивную педагогическую деятельность. Удачный выбор (построение) непротиворечивого гносеологического основания для проектирования педагогического процесса означает, по существу, разработку авторского методо-

логического подхода, применение которого может иметь своим следствием наряду с субъективно новыми педагогическими результатами их объективно новые элементы.

Регулятив 3. Компьютерные симуляции в системе методов и уровней научного познания. Этот регулятив включает три схемы.

Регулятивная схема 3.1. демонстрирует в сравнительной плоскости структурные элементы экспериментального и теоретического методов исследования явлений природы и метода компьютерного моделирования (рис. 8).

Регулятивная схема 3.2. предназначена для демонстрации места компьютерного моделирования в общем цикле научного познания (рис. 9). Центральная идея ее построения состоит в демонстрации того факта, что компьютерное моделирование не является автономным методом исследования. Его планирование и выполнение теснейшим образом связано с эмпирическим и теоретическим уровнями познания.

Регулятивная схема 3.3. демонстрирует структуру научного поиска на эмпирическом уровне познания и место компьютерного моделирования в этой структуре (рис. 10).

Назначение регулятива 3. Данный регулятив в составе его трех схем определяет место и роль компьютерного моделирования в системе методов научного познания. Раскрывается его структура, демонстрируются основные этапы полного цикла моделирования при исследовании физических процессов, его итерационный характер, а также взаимосвязь этапов компьютерного моделирования с этапами экспериментального и теоретического исследования. Указаны критерии, на основе которых может быть выполнено сравнение компьютерного моделирования с методами экспериментального и теоретического исследования явлений природы. Обозначена неразрывная связь теоретического познания и компьютерного моделирования с физическим опытом. Комментарий к регулятивным схемам 3.1–3.3 приведен в *приложении 2* (2.5. с. 305–307).



Рис. 8. Регулятив 3.1. Компьютерное моделирование в системе методов эмпирического и теоретического познания

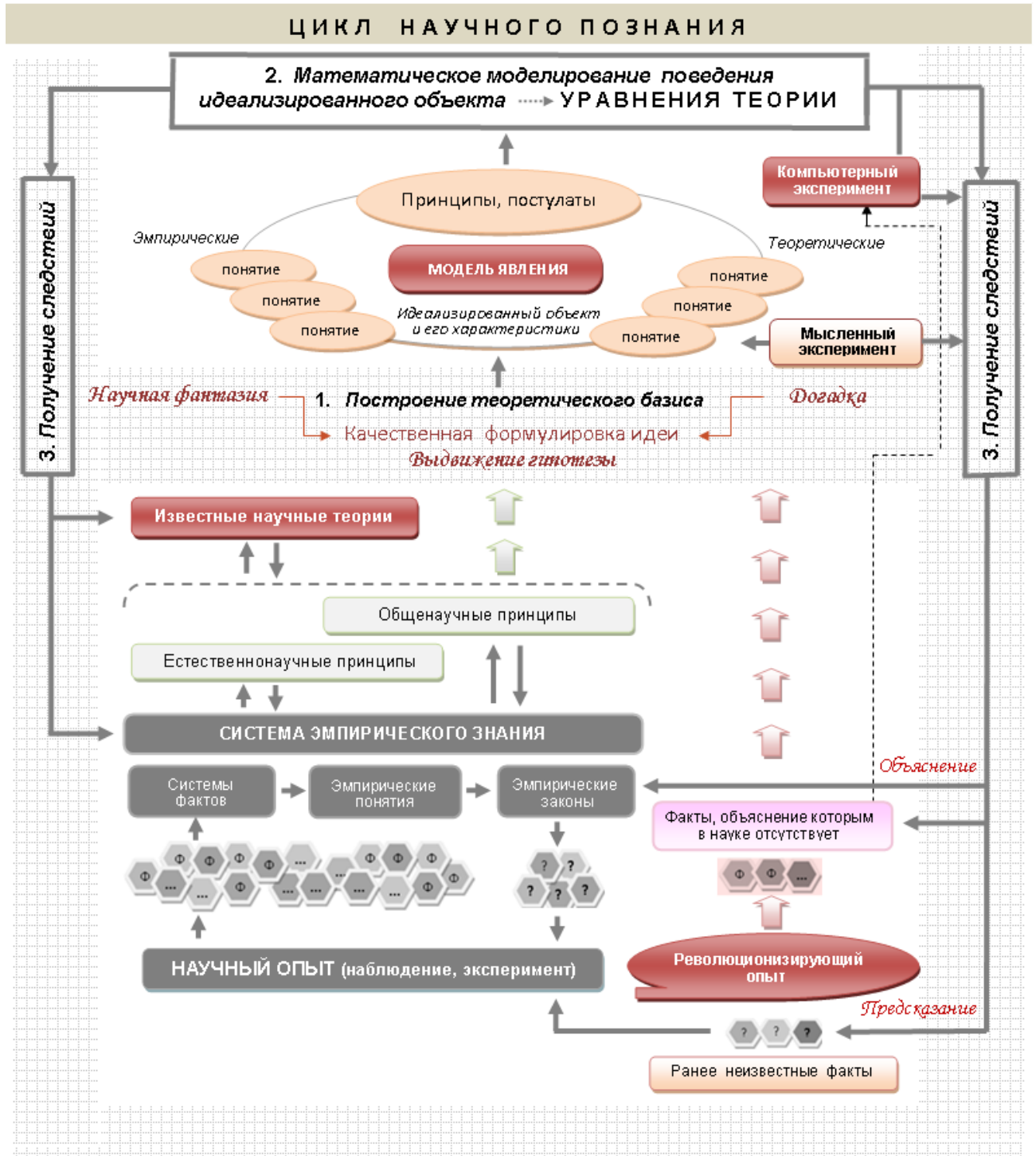


Рис. 9. Регулятив 3.2. Компьютерный эксперимент в общем цикле научного познания (уточненная версия цикла, представленного в работе [102])

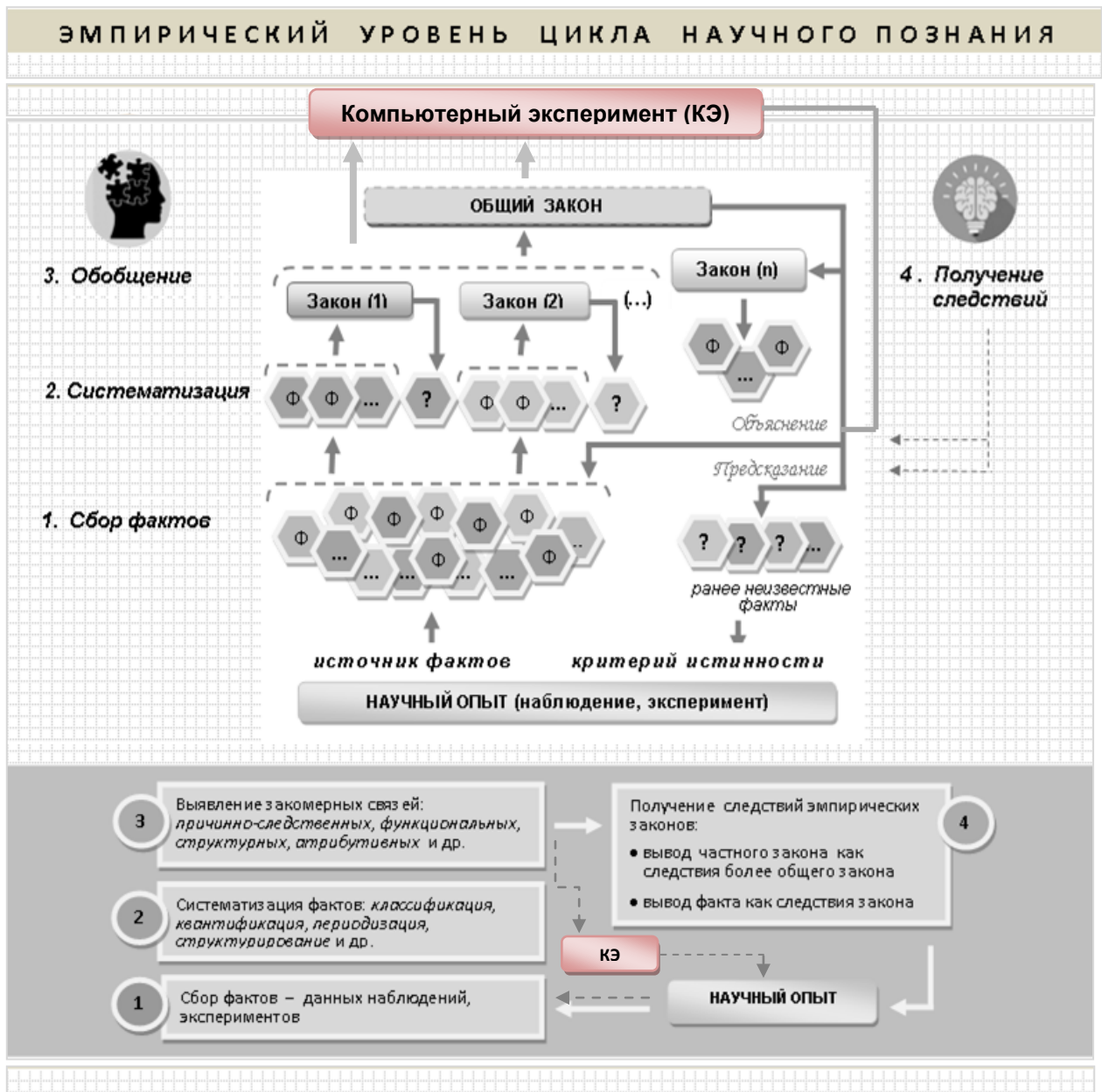


Рис. 10. Регулятив 3.3. Компьютерный эксперимент в структуре эмпирического цикла познания (уточненная версия цикла, приведенного в работе [102])

Регулятив 4. Обобщенная модель компьютерного моделирования как метода учебного исследования. В настоящем исследовании разработан обобщенный план компьютерного моделирования как метода учебного исследования (п. 1.1.3, с. 37–40). Предложена уточненная версия визуализации этапов компьютерного моделирования (рис. 11). Содержание визуализации согласовано с текстовой версией этого регулятива



Рис. 11. Регулятив 4. Обобщенная модель компьютерного моделирования как метода учебного познания

Назначение регулятива 4. Этот регулятив является средством наглядной демонстрации структуры компьютерного моделирования как метода познания и основного содержания его этапов. Показана связь компьютерного моделирования с физическим опытом (наблюдением, экспериментом) как его «атрибутом». Визуальный («свернутый») образ текстовой версии регулятива способствует запоминанию состава и последовательности основных действий достаточно сложной процедуры данного метода познания.

Регулятив 5. Обобщенная модель выполнения компьютерного эксперимента (варианты 1 и 2). Компьютерный эксперимент – это относительно самостоятельный этап в структуре компьютерного моделирования. В настоящем исследовании разработан обобщенный план проведения компьютерного эксперимента как детализация этапа компьютерного моделирования. При этом учтена его взаимосвязь с другими этапами.

Особенность организации работы учащихся на этапе выполнения компьютерного эксперимента определяется предысторией их познавательного опыта. По этой причине обобщенный план проведения компьютерного эксперимента разработан в двух вариантах: для учащихся, которые самостоятельно создавали компьютерную модель и для тех, кто работает с «готовой»

компьютерной симуляцией. При этом учтены уровни сложности математической модели «готовой» КС (табл. 3 и 4, с. 63–69).

Назначение регулятива 5. Этот регулятив определяет логику работы с «готовой» компьютерной моделью при выполнении компьютерного эксперимента. Два варианта реализации этой логики могут быть использованы для проектирования работы разных групп учащихся, а также при использовании моделей разной сложности. В *приложении 2* (2.6, с. 307–312) раскрыты особенности работы учащихся с данными планами.

Регулятив 6. Дидактические цели учебного физического эксперимента. Выполнение физических экспериментов является своеобразным «атрибутом» деятельности исследователя, реализующего моделирование физических процессов на компьютере. Этот регулятив включает три группы целей применения УФЭ в обучении: 1) овладение предметным знанием; 2) изучение содержания эксперимента как метода познания и освоение базовых экспериментальных умений; 3) формирование начального опыта самостоятельного экспериментального исследования. Состав целей для каждой группы приведен в п. 1.3 (с. 71–72) настоящей работы.

Назначение регулятива 6. Этот регулятив является основанием для проектирования целей учебного процесса, включающего применения физического эксперимента. Он может быть использован для анализа и определения учителем дидактического назначения «готовых» компьютерных симуляторов УФЭ. Использование этого регулятива необходимо при самостоятельном проектировании учителем компьютерных симуляторов УФЭ.

Регулятив 7. Обобщенная модель физического эксперимента как метода исследования. Последовательность этапов подготовки и проведения физического эксперимента представлены его обобщенным планом.

Обобщенный план проведения физического эксперимента

1. Сформулировать (уяснить) проблему исследования.
2. Выдвинуть и обосновать гипотезу, на основе которой может быть решена сформулированная проблема.

3. Определить цель эксперимента.
4. Разработать проект экспериментальной установки, сконструировать ее.
5. Определить порядок проведения эксперимента.
6. Выбрать способ кодирования данных опыта (наблюдений, измерений).
7. Провести эксперимент, выполнить необходимые наблюдения и измерения.
8. Провести обработку результатов измерений, оценить их точность.
9. Проанализировать и интерпретировать полученные результаты, сформулировать вывод.
10. Оформить отчет о проведении эксперимента

Детализация этапов, иными словами структура отдельных действий и операций, составляющих экспериментальное исследование, образуют систему дополнительных регулятивов. Данные регулятивы представлены в нашей совместной работе [105].

Назначение регулятива 7. Этот регулятив используется при планировании работы учащихся по выполнению физического эксперимента. Он будет полезен при анализе моделей-симуляторов УФЭ и оценке их методологической грамотности, а также при планировании работы учащихся с этими симуляторами. Применение учителем данного регулятива в проектной деятельности обеспечивает грамотное отражение в структуре и функционале создаваемой КС методологического контента физического эксперимента как инструмента познания. Это является важным условием создания компьютерного симулятора УФЭ как эффективного средства дополнительной подготовки учащихся в области экспериментального исследования явлений природы, отработки и закрепления у них экспериментальных умений и навыков.

Регулятив 8. *Научно-методические основы проектирования и применения компьютерных моделей учебного физического эксперимента (УФЭ).*

Содержание регулятива представлено логико-графической моделью (рис.12).



Рис. 12. Регулятив 8. Научно-методические основы проектирования и применения компьютерных симуляций УФЭ в учебном процессе по физике

Характеристика элементов данного регулятива приведена в п. 1.2.3. (с. 53–54, система типовых методических задач) и п. 1.3.2 (с. 85, система научно-методического знания и источники информации).

Назначение регулятива 8. Этот регулятив ориентирует будущего учителя физики в системе фундаментального и научно-методического знания, которое составляют основу проектирования, создания и применения в учебном процессе компьютерных моделей физического эксперимента. Показаны разновидности симуляций УФЭ. Это симуляции, которые предназначены для дидактического обеспечения обучения школьников компьютерному моделированию физических процессов и симуляции для применения в качестве дополнительного средства формирования у учащихся опыта выполнения физического эксперимента

Регулятив 9. Классификация компьютерных симуляций. Различают несколько оснований классификации учебных КС (рис. 13).



Рис. 13. Регулятив 9. Классификация учебных компьютерных симуляций

Назначение регулятива 9. Ориентировка в видовом разнообразии компьютерных моделей (прил. 1 (1.3), с. 228–229). Определение вида учебной модели по каждому из оснований, соотнесение выбора с возможными целями применения данной модели в учебном процессе как средства обучения (п. 1.2.2, с. 47–48) и метода познания (п. 1.2.2. (с. 40–45).

Регулятив 10. Методологические функции компьютерных симуляций, в том числе симуляций УФЭ. В составе этого регулятива представлены следующие группы функций: *гносеологические, интегрирующие, регулятивные*. Общий перечень функций КС для каждой группы приведен в п. 1.2.2. (с. 40–45). Уточненный состав функций для компьютерных симуляций УФЭ приведен в п. 1.3.2. (с. 62).

Назначение регулятива 10. Этот регулятив является ориентировочной основой: 1) осмысления полноты методологического потенциала метода

компьютерного моделирования; 2) систематизации знаний учащихся о методологических функциях компьютерных симуляций физических процессов; 3) целенаправленного обеспечения разнообразия «готовых» компьютерных симуляций, используемых на учебных занятиях, с точки зрения состава их методологических функций; 4) проектирования учителем авторских учебных компьютерных симуляций с заданным методологическим функционалом.

Регулятив 11. Дидактические функции компьютерных симуляций, в том числе симуляций УФЭ. Данный регулятив определяет широкий спектр дополнительных по отношению к лабораторному физическому эксперименту, дидактических возможностей компьютерных симуляторов УФЭ и их целевых систем. К ним относятся системы, поддерживающие процессы: 1) овладения предметным знанием (физика); 2) изучения содержания эксперимента как метода познания и освоения базовых экспериментальных умений; 3) формирования опыта самостоятельного экспериментального исследования. Состав дидактических функций симуляторов, представленных в каждой из трех указанных групп приведен в п. 1.3.2. (с. 73–77) настоящей работы.

Назначение регулятива 11. Этот регулятив используется для оценки дидактического функционала «готовых» симуляций УФЭ и применяется при разработке учителем новых КС этого вида, целенаправленно «оснащаемых» необходимыми дидактическими функциями, а также при выполнении крупных проектов по созданию целевых систем компьютерных симуляторов УФЭ.

Регулятив 12. Обобщенные характеристики учебных компьютерных симуляций УФЭ. К характеристикам симуляций этого вида относятся:

- 1) *тип моделируемого эксперимента* (абстрактный, конкретный);
- 2) *вид моделируемого эксперимента* (демонстрационный, лабораторный; УКСЛЭ, УВЛЭ, КВЭ);
- 3) *состав реализуемых дидактических функций* (одна преимущественная функция, полифункциональная симуляция);
- 4) *состав реализуемых методологических функций* (КС и/или ФЭ);

5) *уровень интерактивности* (условно-пассивный, активно-операционный, активно-действенный, активно-деятельностный) [104, с. 360–371];

6) *интерфейс модели, определяющий особенности восприятия пользователем объектов учебной сцены и взаимодействия с ними* (классический абстрактный; обеспечение лишь принципиального сходства модели с реальной установкой; реалистичный (иммерсивный) с отражением существенных внешних и внутренних признаков объектов и способов оперирования ими);

7) *состав изменяемых параметров модели* (характеристик исследуемых объектов и процессов, оборудования для выполнения эксперимента, внешних воздействий на исследуемое явление);

8) *тип обучающего сценария* («жесткий», построенный на основе пошаговых инструктивных указаний; «полужесткий», допускающий некоторую свободу в выборе последовательности действий; «свободный», основанный на разнообразии состава и последовательности действий и операций пользователя с объектами модели, в том числе допускающий самостоятельное конструирование установки на основе предложенного оборудования);

9) *технологии управления и поддержки учебной деятельности*: меню, навигация, всплывающие подсказки, голосовое сопровождение, видеоинструкция, цифровые дидактические материалы, наличие инструментов учебной деятельности для обработки информации (автоматизация заполнения таблиц, построение графиков, «письменные принадлежности», калькулятор и пр.);

10) *уровень работы пользователя с моделью* (работа с «готовой» моделью; работа с моделью, созданной из базовых элементов на основе конструктора; исследование модели, самостоятельно разработанной учащимся с использованием инструментальной среды или языков программирования);

11) *уровень сложности учебного материала и заданий*, составляющих основу работы с моделью (общеобразовательный, углубленный);

12) *принцип формирования учебного контента модели*: а) поэлементный, связанный с реализацией отдельных этапов цикла обучения (предъявление материала, его отработка, контроль/самоконтроль усвоения); б) модульный, обеспечивающий полный цикл обучения;

13) *способы и технологии графического представления: 2D, 3D (AR), 3D (VR) и 3D (VR)-СТЕРЕО;*

14) *языки и технологии программирования (открытые профессиональные инструментальные среды и приложения), редакторы, веб-сервисы;*

15) *версии: локальная, сетевая, мобильная, универсальная (Д. А. Антонова) [8, с. 26].*

Назначение регулятива 12. Регулятив применяется при разработке фасетной формулы проектируемой компьютерной симуляции УФЭ. Приведенные характеристики могут использоваться для анализа и оценки учителем «готовых» компьютерных симуляций.

Регулятив 13. Проектирование пользовательского интерфейса компьютерных симуляций УФЭ. Этот регулятив включает требования к интерфейсу симуляций УФЭ и принципы его разработки.

13.1. Требования к пользовательскому интерфейсу компьютерной модели. К ним относятся: 1) *надёжность*: способность продукта противостоять сбоям, совершённым по вине пользователей, разработчиков или в результате действия внешних факторов; 2) *единообразие*: использование единой цветовой и шрифтовой схем для однородных компонентов интерфейса и общих принципов для осуществления их одинаковых или сходных функций; 3) *очевидность состояния системы*: возможность индикации этапа работы программы или приложения посредством предлагаемых механизмов обратной связи; 4) *гибкость*: адаптивность приложения под различные платформы, форм-факторы и в ряде случаев нужды конкретного пользователя; 5) *когнитивная простота*: при работе с системой пользователю не требуется запоминать дополнительную информацию, а каждый шаг при решении определённой задачи предсказуем; 6) *эргономическая простота*: при работе с приложением от пользователя не требуется определённая ловкость, например, для открытия, многоуровневого выпадающего меню; 7) *поисковая доступность*: простота в поиске необходимой информации на странице, структурированность текстового контента и использование понятных пользователю слов, а выбранное се-

мантическое ядро позволяет обеспечить доступность ресурса через поисковые системы; 8) *качество контента*: достаточность информации для принятия решения, её корректность, структурированность, зашумлённость; 9) *поддержка*: вариативность и качество работы различных способов помощи пользователям, в том числе и контекстной, которую предлагает приложение; 10) *функциональность*: соответствие функционала приложения нуждам пользователей и достаточности этого функционала для решения поставленных задач; 11) *удовлетворённость*: степень решения приложением пользовательских задач, а также эмоционального состояния, которое возникает в ходе работы; 12) *эмоциональность*: наличие антропоморфных качеств в оформлении интерфейса, наличия персонажей, неформальных ответов и реакций на пользовательские действия; 13) *выгода от использования*: информированность пользователя об уникальности и полезности продукта; 14) *вовлечённость*: наличие специальных средств для увеличения частоты возврата пользователей в приложение, а также результативность способов создания эмоциональных привязок пользователей к приложению; 15) *язык приложения*: качество словаря приложения, стилистика использованных фраз и то, насколько они соответствуют ожиданиям целевой аудитории; 16) *общественное окружение*: наличие у приложения неформальных сообществ в социальных сетях и на иных ресурсах [60, 132].

13.2. Принципы проектирования интерактивных компьютерных симуляторов УФЭ с реалистичным интерфейсом (реализация элементов иммерсивных технологий обучения).

1. Реалистичная визуализация модели экспериментальной установки (исследуемого объекта (ов), технических устройств и инструментов).

2. Реалистичный моделинг функционала экспериментальной установки и исследуемого в опыте физического явления.

3. Визуализация «механизма» протекания явления, внутреннего устройства и принципа работы физических приборов экспериментальной установки (при условии дидактической целесообразности).

4. Реализация моделей учебной деятельности. Проектирование и разработка компьютерной модели с учетом обобщенных планов соответствующих видов познавательной и практической деятельности (выполнения физического эксперимента, выполнения компьютерного эксперимента).

5. Квазиреалистичность манипуляций учащегося с элементами экспериментальной установки и исследуемыми физическими объектами.

6. Направленность модели УФЭ на реализацию конкретных методологических и дидактических функций.

7. Обеспечение соответствия уровня интерактивности модели ее дидактическому назначению в отношении формируемого у учащихся в работе с данной моделью уровня самостоятельности.

8. Наличие цифровых интерактивных дидактических материалов для проведения самостоятельной работы учащихся с моделью. Модульный подход к разработке их состава и содержания, обеспечивающий полный цикл обучения (предъявление учебной информации, ее отработка и организация контроля/самоконтроля результатов работы). Видовое разнообразие дидактических материалов и реализация принципа их избыточности как условие обеспечения в обучении дифференцированного и индивидуального подходов (Д. А. Антонова) [4, с. 68–72].

Назначение регулятива 13. *Регулятив 13.1.* определяет направления работы студента над проектом интерфейса симулятора КС, учет которых позволяет обеспечить его необходимое качество, делает взаимодействие с симуляцией удобным, простым и эмоционально комфортным. *Регулятив 13.2.* ориентирует студента в направлениях разработки проекта интерфейса симулятора УФЭ с применением элементов иммерсивных технологий обучения. Это обеспечивает необходимое качество учебной модели, достаточное для успешного переноса экспериментальных умений, отработанных на симуляторе, в среду школьной физической лаборатории.

Регулятив 14. Модель освоения учащимися компьютерного моделирования как метода познания (базовый и профильный уровни). Содержание этого регулятива раскрыто в п. 1.2.3 (с. 51–53).

Назначение регулятива 14. Регулятив отражает составляющие модели учебного процесса по освоению учащимися компьютерного моделирования как метода познания (базовый и профильный уровни обучения) и используется при планировании учебного процесса по физике с применением КС (определении содержания, методов и средств обучения). Составляет основу разработки студентом методики организации работы учащихся с компьютерной симуляцией на учебном занятии.

Регулятив 15. Методология проектирования педагогической практики. Методология педагогической практики рассматривается как учение о структуре, логической организации, принципах, требованиях, нормах деятельности по созданию или обновлению модели педагогического процесса. Это иерархический комплекс обобщенных структурно-системных, структурно-содержательных и структурно-функциональных ориентиров его проектирования. Выше представлены регулятивы такого комплекса для проектирования практики применения в обучении компьютерных симуляций УФЭ, включая создание этих симуляций как средств сопровождения данной практики. Кроме них в состав комплекса должен быть включен регулятив, раскрывающий общую структуру и логику *проектной деятельности*, направленной на преобразование педагогической практики в избранном направлении.

Исследованию проблем методологии педагогического проектирования посвящены работы Е. С. Заир-Бек, И. И. Колесниковой, И. А. Мазур, В. М. Монохова, А. М. Новикова, Д. А. Новикова, В. Е. Радионова, Ю. Г. Татур, А. Н. Ходусова, В. Д. Шапиро и др. Основные идеи предложенных авторами решений положены в основу построения в рамках настоящего исследования методологического регулятива по проектированию обновленной педагогической практики. В характеристике (интерпретации) ряда элементов данного регулятива и их взаимосвязи использовались взгляды на сущность процесса проекти-

рования Ю. В. Громько [48], И. А. Колесниковой [71], А. М. Новикова и Д. А. Новикова [98], Н. С. Пурышевой и Р. В. Гуриной [115], В. М. Розина [117], Ю. Г. Татур [139]. Особенностью нашего подхода к определению структуры данного регулятива является, прежде всего, разграничение *деятельности по проектированию педагогического явления* (субъекта, объекта, процесса) и *деятельности по реализации проекта*. Мы разделяем мнение, высказанное В. М. Розиным относительно трактовки понятия «проектирование»: «Возможность полностью разработать будущий объект в семиотическом плане, без обращения к плану реализации, только за счет прототипов, знаний, норм, эскизов и моделей ...» является важной особенностью (сутью) проектирования [117]. Содержание проектной фазы связано с формированием замысла проекта, построением модели обновленной педагогической практики, включающей описание педагогического явления (субъекта, объекта, процесса) и способов воздействия на него, а также подготовкой плана и средств реализации проекта.

Процедура проектирования включает несколько стадий: *инициирование проекта, его концептуализацию, конструирование и технологическое обеспечение* (рис. 14). Разработка проекта базируется на двух ведущих принципах *системности* и *саморазвития*. Объект проектирования рассматривается как целостная система, включенная в непрерывный процесс, в ходе которого осуществляется коррекция и развитие проектных решений. Это связано с тем, что и процедуры проектирования, и последующая реализация проекта осуществляются в условиях меняющихся социокультурных и институциональных характеристик педагогических реалий (рис. 15) (Ю. Г. Татур, А. Н. Ходусов) [139, 159]. Содержание стадий проектирования на примере решения практикующим учителем задачи включения в учебный процесс по физике в средней школе компьютерного моделирования как метода познания раскрыто в *приложении 2* (2.7, с. 312–323).

Назначение регулятива 15. Этот регулятив ориентирован на формирование представлений о структуре и логике педагогического проектирования, жизненном цикле проектов, типах проектирования, а также на становление

и использование «проектного языка» (В. М. Розин). Этот регулятив занимает в системе общих и специальных регулятивов (1–14) высшую ступень иерархии, охватывая в своей реализации применение всего их комплекса. В этой связи его функция состоит не только в объективации общей структуры, логики и методов проектирования педагогического процесса, но и в демонстрации сложной (многослойной) архитектуры методологии педагогической практики.

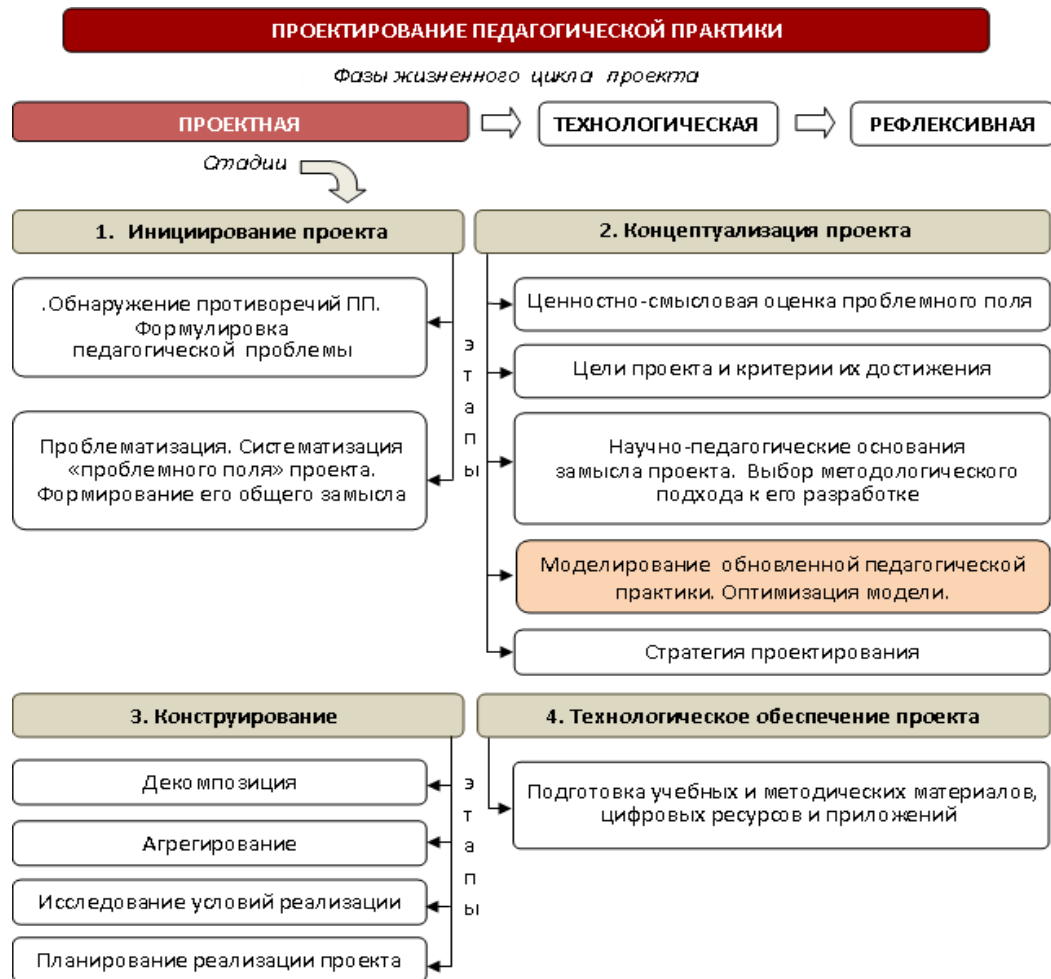


Рис. 14. Регулятив 14. Логико-графическая модель методологии педагогического проектирования



Рис. 15. Взаимосвязь процесса проектирования и характеристик педагогических реалий

Приведенный выше комплекс регулятивов определяет ключевые компоненты содержания методологической подготовки будущего учителя физики в области применения в учебном процессе по физике компьютерного моделирования как метода познания. В состав комплекса входят регулятивы отражающие: 1) структуру методов научного познания (физического эксперимента, компьютерного моделирования) в проекции на учебную практику их применения (3, 4, 5, 7); 2) обобщенные характеристики компьютерных моделей УФЭ, принципы и требования к их проектированию (12, 13); 3) методологические ориентиры предметной дидактики, связанные с применением компьютерных моделей в обучении физике (6, 8, 9, 10, 11, 14); 4) структуру современного научно-педагогического знания как теоретико-методологической основы поиска и обоснования проектных решений (1, 2, 15). Данные регулятивы задают направления и содержание самостоятельной работы студентов в поиске наиболее эффективных решений поставленной задачи на различных этапах их проектной работы.

Комплекс регулятивов может быть модифицирован под задачи проектирования КС других видов. С этой целью необходимы уточнение и частичная замена элементов внутреннего блока комплекса (регулятивов 8, 10–13), ориентированного на конкретный вид компьютерной симуляции (симуляции УФЭ).

Важную роль в разработке методологических регулятивов играют структурно-графические и логико-графические визуализации. Визуальные образы способствует ясности понимания и легкости усвоения методологического знания, его запоминанию, оперативной ориентировке в методологических конструктах и нормах, снижению ошибок и росту результативности применения, а также методологической рефлексии профессиональной деятельности.

Проблема разработки различных комплексов методологических регулятивов для организации проектной деятельности будущих педагогов является актуальной. В этом случае фрагментированной и в значительной мере теоретической методологической подготовке будущих специалистов будет противопоставлен ее системный вариант, в котором методологические основы ис-

следования и практической деятельности, осваиваемые студентами в разных учебных дисциплинах, обретают свое ценностное инструментальное содержание в ходе их комплексного применения в решении профессиональных педагогических задач.

2.2. Теоретико-методологические основы продуктивного обучения будущих учителей проектированию учебного процесса по физике

Успешность решения задачи формирования *профессиональной методологической компетенции* будущих учителей физики в области преобразования предметной педагогической практики в направлении включения в ее содержание компьютерного моделирования как метода познания существенно зависит от выбора подхода к организации их учебной деятельности. Данная деятельность не связана с обучением будущих учителей конкретным методикам применения КС в обучении физике. Это самостоятельная работа студентов по проектированию педагогической практики и средств ее обеспечения на основе собственных проектных решений как результата изучения и применения специального, педагогического и научно-методического знания и проявления индивидуального профессионального стиля будущего учителя физики.

Сложность данной проектной деятельности определяется необходимостью использования студентами в решении поставленной задачи знаний и умений по разным учебным дисциплинам. Основу этой агрегации составляют и придают ей необходимую функциональность знания в области методологии педагогической практики, представленные в систематизированной форме в виде методологических регулятивов 1–15. Системой регулятивов задаются направления поиска информации, необходимый уровень овладения новыми знаниями и умениями для преодоления разрыва между наличным и требуемым для выполнения проектного замысла опытом работы.

Самостоятельная проектная деятельность студентов, несмотря на ее учебный статус, по своим характеристикам (целям, содержанию, методам работы и требованиям к качеству результата) приближается к профессиональной педа-

гогической деятельности, связанной с созданием и применением ЭОР. Это дает основание считать, что сущностно наиболее близким для решения поставленной задачи будет подход, базирующийся на идее *продуктивного обучения*.

В наших работах [5, 7, 10, 11] дана характеристика продуктивного обучения (PL – сокр. от англ. Productive Learning) и этапов его становления как педагогической концепции, обсуждается проблема уточнения его теоретико-методологического базиса. В статье [10] доказывается, что основу продуктивного обучения в его современном понимании образует более широкий комплекс психолого-педагогических теорий, концепций и подходов в сравнении с тем, который был определен ранее (на этапе зарождения идеи PL) его авторами (Й. Шнайдер, И. Бём, 1990 г.) [31]. Предлагается уточненная модель теоретико-методологического базиса продуктивного обучения, допускающая различные модификации иерархии ее составляющих в зависимости от целей образовательного процесса. Ниже раскрываются теоретико-методологические основы концепции PL, принятые в настоящем исследовании.

Истоки зарождения и развития идеи PL восходят к трудам зарубежных и отечественных педагогов-исследователей периода второй половины XIX века и первой трети XX столетия. Современная трактовка продуктивного обучения начала формироваться в 70-х гг. XX столетия. Первоначально обучение данного типа было отнесено к группе альтернативных педагогических технологий [125]. Спустя десятилетие продуктивное обучение сложилось как целостная педагогическая система. В настоящее время она может с полным правом рассматриваться как *педагогическая концепция* третьего рода (обобщение инновационной педагогической практики) [53, 115].

Анализ и обобщение опыта продуктивного обучения в системе современного образования, в том числе в высшей школе указывают на его успешность [41, 52, 161]. С начала 2000-х гг. в отечественной практике педагогических исследований выполнено несколько диссертационных работ по проблеме организации PL как одного из средств профессиональной подготовки студентов (М. Н. Гольдина (2003), Г. К. Паринаова (2003), С. В. Пыхова (2003), В. С. Умнов

(2003), Н. М. Бурмистрова (2004), Е. В. Губанова (2004), Д. Ю. Чупин (2007), Е. А. Попкова (2009), В. Ф. Северина (2013). Диссертационные исследования в этом направлении проводятся и за рубежом (S. A. Bailey (2009) [178], Evangelia van Barneveld (2011) [174], S. Ragsdale (2014) [177], С. А. Мика (2015) [171], P. Koss (2015) [176], Wing K. Y. H (2016) [179] и др.)

На современном этапе развития системы продуктивного обучения главным в его содержании является идея о переориентации организационной структуры образовательного процесса «... с приоритетов трансляции знаний и контроля его формального усвоения на первичность создания условий для мотивированной практико-ориентированной самостоятельной учебной деятельности, результаты которой не фиксируются в «балльном» выражении, а закрепляются в конкретном социально значимом продукте» [49]. Целью продуктивного обучения является подготовка обучающегося « ... как субъекта социально-исторического и культурно-созидательного процесса, умеющего не просто вписаться в окружающий мир, но и активно действовать в нем, приобретающего в процессе обучения опыт решения различных социальных и производственных проблем» [161].

Понимая в целом однозначно сущность продуктивного обучения, исследователи расходятся во мнении, что считать его главным результатом. Для выявления различий в подходах к трактовке понятия «продуктивное обучение» следует обратить внимание на дифференциацию понятий «продуктивная деятельность» и «творческая деятельность». При рассмотрении продуктивного обучения данные понятия должны быть разведены. Продуктивная деятельность является более широким понятием. Творческая деятельность всегда продуктивна, продуктивная деятельность может и не иметь творческого характера (З. И. Калмыкова, В. Я. Ляудис, Н. Р. Сенаторова).

Для исключения путаницы в данных понятиях Е.Н. Васильева предлагает разграничивать понятия «продукт» образовательной деятельности и «личностные результаты образования» (совокупность тех изменений, которые происходят при научении – личностный рост, самоопределение, саморазвитие).

«Продукт – это практический (овеществлённый и предъявленный) практико-ориентированный результат (как собственный, так и коллективный)» [41]. От личностных образовательных результатов зависит в конечном итоге качество этого продукта. Мы разделяем позицию Е. Н. Васильевой. Однако, важно отметить, что часто используемое при анализе учебной работы обучаемых понятие «продуктивная деятельность» сформировалось вне концепции PL и применяется как тождественное понятию «творческая деятельность», например, «продуктивное мышление» (М. Вертгеймер, З. И. Калмыкова, М. А. Холлодная и др.). В этом случае речь идет о личностных результатах обучения: самостоятельном получении обучаемым субъективно нового опыта.

Теоретико-методологические основания PL рассматриваются в работах И. Бем и И. Шнайдера, М. И. Башмакова, Е. Н. Васильевой, Ф. Н. Козырева, С. В. Литвиненко, В. А. Полякова, Г. К. Селевко, С. Н. Чистяковой, Н. Б. Яновской и др. Согласно модели PL, разработанной И. Бем и Й. Шнайдером, его методологический базис включает *личностный, деятельностный, социальный, культурный и профессиональный* аспекты рассмотрения [31]. Г. К. Селевко указывает на четыре подхода: *стратегический, личностно-ориентированный, деятельностный и синергетический* [125, с. 408]. Отмечается связь продуктивного обучения с *проблемным обучением и компетентностным* подходом к организации учебного процесса (Е. А. Румбешта, В. З. Мидуков)[119]. Анализируется сущность PL в рамках *конструктивистского* подхода (Н. Б. Яновская) [170]. Различия в позициях авторов свидетельствуют о том, что представления о теоретико-методологических основаниях PL, обеспечивающих его образовательный эффект, находятся в стадии формирования.

В рамках настоящего исследования выполнен всесторонний анализ педагогической системы PL и практик ее реализации. На этой основе уточнен его теоретико-методологический базис. Его состав образуют: 1) *теории* развивающего обучения, 2) *концепции* средо-ориентированного обучения и социально-профессионального самоопределения, 3) *подходы* деятельностный, конструктивистский, личностно-ориентированный, коммуникативный, полисубъектный (диалогический), контекстный, компетентностный и стратегический. Важно

отметить, что указанные концепции обучения и значительная часть подходов (исключая деятельностный и конструктивистский) имеют статус практических методологических базисов, определяющих приоритетные ценностные характеристики каждой конкретной системы PL. В нашей публикации [10] дана характеристика включенных в теоретико-методологический базис PL теорий, концепций и подходов, раскрыто их содержание в проекции на практику его организации. Кратко этот вопрос изложен в *приложении 2* (2.8, с. 324–330). С позиций указанного теоретико-методологического базиса образовательный потенциал PL получает убедительное объяснение.

Конвергенция обозначенных составляющих в структуре теоретико-методологического базиса PL рассматривается в настоящем исследовании как гипотетическая модель его научного обоснования. Отобраны те теоретико-методологические основы, в опоре на которые обеспечивается, с одной стороны, системный анализ продуктивной деятельности как социокультурной и психологической основы формирования личности обучающихся, с другой – согласование различных контекстов этой деятельности с ключевыми целями их личностного развития. В рамках данной модели не только получают убедительное объяснение образовательные эффекты PL, но и расширяются прогнозируемые границы его эффективного применения, открываются возможности дальнейшего развития концепции данной системы.

Анализ исследований в области продуктивного обучения показал, что при схожести позиций относительно его сущности и основных положений, касающихся его реализации, имеет место проблема разграничения *целей, принципов* и *необходимых условий* обучения данного типа. Определим в рамках настоящего исследования рабочую позицию по данному вопросу [16].

I. *Сущность PL* – обучение через деятельность по созданию конкретного лично и социально значимого продукта (материального, интеллектуального) в условиях реальных жизненных ситуаций. Содержание обучения интегрировано в исполняемые проекты и осваивается в процессе их разработки. Деятельность по созданию продукта определяется как продуктивная и может иметь как творческий, так и не творческий, а также смешанный характер.

Понятие умственной продуктивной деятельности связывается исключительно с творческой деятельностью – «добыванием» обучающимся объективно или субъективно нового знания.

II. *Цели PL*: приобретение жизненных умений, инициирующих личный рост и индивидуальное развитие, межличностное общение и взаимодействие, а также самоопределение обучающихся (Одиннадцатый конгресс INEPS, Берлин, 1999). Приоритетными являются социальное самоопределение обучающихся, их подготовка (переподготовка) к профессиональной социализации и профессиональному самоопределению.

Основные положения концепции PL как педагогической системы. Данные положения отражают ключевые характеристики модели продуктивного обучения и касаются среды его организации, деятельности обучающихся в данной среде и их личностных достижений, а именно: 1) расширение образовательной среды с включением в нее ресурсов социально-экономического, культурного и информационного окружения; 2) направленность учебной деятельности на конкретный социально и личностно значимый результат (продукт – материальный, интеллектуальный) и овладение в процессе его создания соответствующим социальным опытом (эмоционально-ценностным компонентом его содержания, знаниями, познавательными и практическими умениями, опытом продуктивного мышления); 3) организация познавательной и практической деятельности обучающихся по индивидуальным траекториям, обогащение индивидуальных стилей познания и практической работы; 4) формирование самостоятельности как качества личности, включая самостоятельность познавательной и практической деятельности и ответственность за ее результаты; 5) личностное самоопределение обучающихся, ориентация на социальное и профессиональное самоопределение, самореализацию; 6) изменение характера отношений и взаимодействия субъектов образовательного процесса (в том числе учителя, преподавателя, наставника) в направлении становления отношений сотрудничества и партнерства.

III. *Принципы PL*. Проблема определения принципов PL не нова. Их состав и содержание рассматриваются в работах М. И. Башмакова, М. А. Горяева

[19] (2000), Т. Н. Ивочкиной [61] (2004), Д. Ю. Чупина [164] (2007), Н. И. Алмазовой, А. В. Рубцовой [3] (2011), О. Г. Чаминой [161] (2015), Н. А. Кубраковой [80] (2019) и др. Авторами выделено в совокупности более трех десятков принципов РЛ. При этом вопрос их методологического обоснования, системного представления и релевантного описания в полной мере еще не решен.

Содержание теоретико-методологического базиса продуктивного обучения, принятого в настоящем исследовании, является основанием построения системы принципов его организации. Данная система принципов включает две группы. Это *сущностные* и *атрибутивные* принципы РЛ.

Сущностные принципы продуктивного обучения характеризуют функциональные особенности модели его организации. Они отражают объективные закономерности познавательной и практической деятельности и формулируются как следствия теории деятельности и теорий развивающего обучения, а также теорий, определяющих конструктивистский подход к обучению (теорий когнитивного развития Ж. Пиаже и социокультурного развития Л.С. Выготского, теории научения Дж. Брунера) (табл. 6).

Таблица 6

Сущностные принципы РЛ Теоретико-методологический базис	
<i>Теория деятельности</i>	
1.	Личностно значимый созидательный характер учебной деятельности.
2.	Обеспечение целостности психологической структуры учебной деятельности.
3.	Планомерность в формировании и развитии компонентов структуры деятельности
4.	(мотивации, ориентировочной основы, «механизмов» исполнения, самоконтроля) и ее эмоционально-ценностного компонента.
5.	Деятельностный подход к формированию системы знаний.
<i>Теории развивающего обучения</i>	
6.	Обеспечение социокультурного контекста учебной деятельности.
7.	Освоение содержания обучения на основе системы продуктивных актов.
8.	Приоритет самостоятельной деятельности и формирования ее индивидуального стиля.
9.	Опора на механизмы развития («движения») деятельности (внутренние, внешние) как формы проявления активности личности.
<i>Конструктивистский подход</i>	
10.	Организация познавательной и практической деятельности в опоре на механизмы саморегуляции, саморазвития, самореализации («самоконструирования»).

Анализ практико-ориентированных концепций и подходов теоретико-методологической базы РЛ имеет своим результатом формулировку

атрибутивных принципов как утверждений, отражающих характеристические признаки обучения данного типа в соответствии с приданными ему внешними целями (табл. 7). Система атрибутивных принципов допускает вариативность. Данные принципы могут менять свое место в системной иерархии, возможна их более тонкая дифференциация в рамках теоретико-методологического базиса. На определение состава приоритетных атрибутивных принципов РЛ оказывают влияние особенности адресной группы обучающихся, этап обучения и специфика социокультурной среды продуктивной деятельности и др.

Таблица 7

Атрибутивные принципы РЛ Теоретико-методологический базис	
<i>Концепция средо-ориентированного обучения</i>	
11.	Обновление социокультурного окружения (среды обучения), обеспечение его профессионализирующего профиля.
<i>Личностно-ориентированный подход</i>	
12.	Формирование индивидуальных траекторий продуктивной образовательной практики.
<i>Коммуникативный и полисубъектный (диалогический) подходы</i>	
13.	Направленность на развитие коммуникативной культуры обучающихся, формирование у них инициативной коммуникативной позиции.
14.	Развитие межличностного общения и опыта познавательного сотрудничества, включая обновление позиции педагога в структуре общения.
<i>Компетентностный и контекстный подходы</i>	
15.	Контекстуальная и компетентностная направленность продуктивного обучения.
<i>Концепция социально-профессионального самоопределения. Стратегический подход</i>	
16.	Опора на потребность в социально-профессиональном самоопределении, содействие формированию стратегической компетенции в самореализации.

Теоретико-методологическое обоснование сущностных и атрибутивных принципов РЛ, содержание и ключевые направления их реализации приведены в *приложении 2* (2.8, с. 330–353). Система принципов продуктивного обучения сформирована как отражение *конвергентного подхода* к построению его теоретико-методологического базиса. Учебный процесс соответственно строится на основе конвергентной технологии реализации данной системы принципов. Объединение ключевых идей теоретико-методологических подходов при разработке конвергентной системы продуктивного обучения обеспечивает практику ее применения, по выражению С. И. Неизвестного, «без разрывов» как

системно более полную управленческую конструкцию. Это существенно повышает результативность образовательной деятельности преподавателя в достижении поставленных целей [95, с. 7].

IV. Условия организации продуктивного обучения.

1. Выбор *профилирующей среды PL*, обеспечение ее соответствия профилю подготовки обучающихся по составу и качеству ресурсов, субъектов (в том числе профильных специалистов), норм, правил и режима работы. Выявление возможных взаимосвязей избранной профилирующей среды PL в системе возможных уровней его организации («школа – предприятие», «школа – реальная жизнь», «вуз – предприятие», «вуз – школа» и пр.).

2. *Наличие программы обучения*, включающей согласованную с содержанием образовательной подготовки обучающихся систему продуктивных проектов (технических заданий). Актуальность, социальная значимость проектов, согласованность их сложности с возможностями и интересами адресной группы обучающихся. Перспективная направленность проектной деятельности (наличие линий ее дальнейшего развития). Обеспечение связующего концепта проектов для реализации межличностного общения и познавательного сотрудничества обучающихся в процессе их продуктивной деятельности.

3. *Определение технологии реализации PL* и подготовка ее материально-технического, аппаратно-технологического, организационного, учебно-методического и дидактического обеспечения, включая цифровые ресурсы, инструменты и ИКТ. Создание условий для оперативной связи и взаимодействия субъектов продуктивного образовательного процесса, в том числе в дистанционном режиме.

4. *Наличие инструментария входной и текущей диагностики* личностных качеств адресной группы обучающихся (их когнитивного и практического опыта, уровня мотивации, интересов и склонностей, уровня социального и профессионального самоопределения) для его применения с целью формирования состава и содержания продуктивных проектов, построения и корректировки индивидуальных маршрутов продуктивной проектной деятельности.

5. *Наличие средств итоговой диагностики результатов* продуктивного обучения: учебных и личностных достижений обучающихся, качества созданных продуктов и опыта их апробации.

6. *Педагог-продуктивист* [16, с. 21–22].

Итак, в рамках настоящего параграфа уточнена *концептуальная модель продуктивного обучения*. В структуре данной модели определены: сущность и цели PL; его теоретико-методологический базис как конвергенция теорий, методологических подходов и концепций, объясняющих его образовательный эффект; сущность, цели, система принципов PL и условий его организации.

2.3. Методическая система продуктивного обучения студентов разработке и применению в учебной практике компьютерных симуляций физического эксперимента

Основной задачей исследования является разработка методической системы методологической подготовки будущих учителей физики к деятельности по преобразованию учебного процесса в направлении включения в его содержание вопросов методологии компьютерного моделирования и практики освоения школьниками ее начал, а также реализации дидактического потенциала компьютерных симуляций. Методическая система включает в качестве своих базовых компонентов *цели, содержание, методы и средства* обучения, *формы занятий*. Специфика и взаимосвязи этих элементов системы определяются факторами, обеспечивающими ее целостность и отличие от других систем. К этим факторам относятся: а) *организация самостоятельной продуктивной деятельности* студентов по проектированию практики применения КС в обучении физике, б) сопровождение проектной деятельности *комплексом методологических регулятивов* как обобщенных ориентиров поиска и реализации проектных решений, в) обучение будущих учителей физики проектированию данного вида учебной практики *в рамках дисциплин методического цикла с опорой на связи* (содержательные, операционные) *с дисциплинами их фундамен-*

тальной предметной подготовки в области компьютерного моделирования физических процессов. Рассмотрим содержание компонентов этой системы

I. Цели обучения соотнесены с основными целями, обозначенными в концепции РL, и уточнены по отношению к адресной группе обучающихся (бакалавры, осваивающие образовательную программу по направлению 44.03.05 Педагогическое образование с двумя профилями подготовки, профили "Физика и Информатика"). К ним относятся:

1. Формирование *профессиональной методологической компетенции* будущих учителей в области разработки компьютерных симуляций и проектирования практики их применения в учебном процессе по физике в средней школе.

2. Развитие эмоционально-ценностного компонента профессиональной деятельности, ее активности и самостоятельности в опоре на механизмы саморегуляции, саморазвития, самореализации. Формирование творческой составляющей продуктивной деятельности и ее индивидуального стиля.

3. Содействие становлению опыта социально-профессиональной коммуникации, формирование коммуникативной компетентности.

4. Развитие навыков межличностного общения, формирование опыта познавательного сотрудничества – деятельно-ценностного взаимодействия, направленного на достижение общей социально значимой цели.

5. Подготовка к профессиональной социализации и профессиональному самоопределению. Формирование стратегической компетенции как готовности к перспективному планированию профессионального саморазвития и реализации профессионального выбора.

Формирование ПМК является в системе обозначенных целей РL приоритетной целью реализации рассматриваемой методической системы обучения.

Профессиональная методологическая компетенция учителя в области проектирования педагогической практики определяется как его *готовность к самостоятельной продуктивной деятельности по проектированию образовательного процесса на основе современного научно-педагогического знания как теоретико-методологической основы поиска и обоснования проектных решений*. В исследовании определен компонентный состав этой компетенции

применительно к проектированию практики применения в учебном процессе по физике в средней школе компьютерных симуляций (табл. 8). Проектная деятельность студентов может базироваться на создании и применении в обучении физики компьютерной симуляции одного из видов.

Таблица 8

ПМК: готовность к самостоятельной продуктивной деятельности по проектированию учебного процесса по физике с применением компьютерных симуляций

<i>По результатам обучения студент должен:</i>	
знать:	<ul style="list-style-type: none"> – основы методологии компьютерного моделирования физических процессов, место и роль данного метода в структуре научного познания, его взаимосвязь с физическим экспериментом; – основы методологии проектирования педагогической практики, связанной с разработкой и использованием компьютерных симуляций в учебном процессе по физике в средней школе (на базовом и профильном уровнях).
уметь:	<ul style="list-style-type: none"> – отбирать «готовые» учебные компьютерные симуляции для применения в учебном процессе по физике с целью совершенствования практики усвоения предметного знания и формирования у учащихся представлений о компьютерном моделировании как методе познания и его основных методологических функциях; – формировать содержание и осуществлять выбор методов и средств обучения компьютерному моделированию физических процессов, строить обучение с применением разных форм организации учебных занятий; – применять языки и технологии программирования, математические пакеты, редакторы разных видов с целью создания учебных компьютерных симуляций и цифровых средств их дидактического сопровождения; использовать средства интеграции КС и цифровых материалов их дидактического сопровождения в единый электронный образовательный ресурс (ЭОР); – выполнять анализ качества созданного авторского ресурса.
владеть:	<ul style="list-style-type: none"> – опытом проектирования учебных компьютерных симуляций физических процессов (на примере симуляций одного из видов); – опытом проектирования цифровых дидактических материалов для сопровождения самостоятельной работы учащихся с «готовыми» компьютерными симуляциями и выполнения полного цикла компьютерного моделирования физических процессов; – опытом проектирования учебного процесса по физике в различных организационных формах с применением компьютерных симуляций в рамках основного учебного курса (базовый и профильный уровни) и курсов внеурочной деятельности

В настоящем исследовании рассматривается практика применения на занятиях по физике компьютерных симуляций УФЭ (средняя школа, *базовый уровень* обучения). К направлениям преобразования практики относятся: 1) проектирование учебного процесса по физике с применением компьютерных симуляций УФЭ как инструмента познания и средства обучения; 2) разработка симуляторов УФЭ (УКСЛЭ) и компьютерных симуляций для выполнения компьютерного эксперимента (УВЛЭ) как средств обеспечения учебного процесса; 3) под-

готовка дидактических средств сопровождения самостоятельной работы с компьютерными симуляциями УФЭ, обеспечивающих формирование у учащихся представлений о компьютерном моделировании как методе исследования физических явлений, приобретение начального опыта выполнения компьютерного эксперимента на основе работы с «готовыми» КС, а также совершенствование ЗУН в области методологии физического эксперимента.

II. Содержание обучения. Наиболее рациональным подходом к разработке содержания обучения будущих учителей физики в рассматриваемой области педагогической практики представляется подход, базирующийся на реализации *междисциплинарных связей* (содержательных, операционных) целого комплекса дисциплин и курсов учебного плана подготовки бакалавров педагогического образования. Это определяется сложностью структуры знания, применяемого в проектировании практики обучения школьников компьютерному моделированию (с. 85, 90–91). Комплекс этих знаний, включая основы методологии проектной деятельности, осваивается в рамках широкого перечня дисциплин фундаментальной, педагогической и предметной научно-методической подготовки студентов.

Ниже в качестве примера приведен перечень дисциплин, курсов и практик основной образовательной программы подготовки бакалавров ПГГПУ (г. Пермь) по направлению 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки, профили "Физика и Информатика"), актуализация междисциплинарных связей (МДС) с которыми является целесообразной при обучении студентов проектированию педагогической практики с применением компьютерных симуляций (*табл. 9*).

Таблица 9

Профиль «Физика»	
<i>Обязательные дисциплины (семестр)</i>	<i>Дисциплины по выбору (семестр)</i>
Общая физика (по разделам) (2–6.). Теоретическая физика (5–9). Уравнения и методы математической физики (6). Численные методы (5). Основы теории вероятностей (7 сем.).	<i>Мультимедиа технологии в образовании / Компьютерные технологии диагностики учебных достижений (7). Системы визуального программирования / Информационные системы в управлении учебным процессом (7). Научный эксперимент /</i>

Методика обучения физике (6, 7, 8). Технологии проектирования учебно-го процесса по физике (7).	Практикум по конструированию экспериментальных установок по физике (7 сем.). <i>Методика обучения учащихся решению физических задач</i> / Подготовка к олимпиадным задачам по физике (8).
Разработка цифровых образовательных ресурсов по физике (7). Научно-исследовательская деятельность учителя средней школы (8). Проектирование информационных систем в образовании (10)	<i>Школьный физический практикум</i> / ИКТ в учебном физическом эксперименте (9). <i>Дистанционные технологии в образовании</i> / Компьютерные сети в системе образования(10). <i>Применение компьютерных моделей в обучении физике</i> / Применение коллекций ЦОР в обучении физике (9).
Профиль «Информатика».	
<i>Обязательные дисциплины (семестр)</i>	<i>Дисциплины по выбору (семестр)</i>
Программирование (2, 3, 7). Технологии проектирования интеллектуальных систем (5). Компьютерное моделирование (6). Методика обучения информатике (6, 7, 8). Компьютерное моделирование сложных систем (9)	<i>Практикум по компьютерному моделированию</i> / Web-программирование и web-дизайн (6). <i>Системы компьютерной математики</i> / Методы графического представления данных (7). <i>Компьютерная геометрия и графика</i> / Представление знаний в информационных системах (7)
Практики	
Учебная практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности (4, 6). Производственная практика. Научно-исследовательская работа (8). Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности (8 сем.). Производственная педагогическая практика (9). Преддипломная практика (10).	

Содержание обучения представлено *дисциплинарно-распределенной программой*, включающей пять модулей: 1) учебный эксперимент в курсе физики средней школы; 2) компьютерное моделирование в учебном процессе по физике в средней школе; 3) основы методологии педагогического проектирования практики применения КС в обучении и средств ее дидактического обеспечения; 4) инструменты и технологии разработки компьютерных симуляций для учебного процесса по физике; 5) экспертиза ЭОР. Содержание модулей приведено в *приложении 2* (2.9, с. 353–355). Элементы содержания модулей интегрированы в программы указанных выше дисциплин и курсов учебного плана (*табл. 9*). Связь содержания модулей с программами этих дисциплин и курсов показана в *приложении 2* (2.9, *табл. 20*, с. 355–357). Выбор и включение элементов модулей в состав данных программ осуществляется с учетом особенностей послед-

них и по согласованию с ведущими преподавателями этих дисциплин. Такой подход к построению междисциплинарных связей (*содержательных, операционных*) фундаментальной и методической составляющих предметной подготовки студентов обеспечивает реализацию принципов научности и системности в обучении, способствует оптимизации учебного процесса и росту его результативности в отношении формируемой ПМК.

Освоение программы обучения включает две стадии.

Первая стадия связана с базовой профессиональной подготовкой студентов в области: 1) методологии и техники постановки физического эксперимента, 2) методологии и технологии компьютерного моделирования физических процессов. Обучение осуществляется в рамках фундаментальных дисциплин предметных модулей вариативной части учебного плана: общей и теоретической физики, высшей математики, информатики и ИТ.

Вторая стадия ориентирована на профессиональную научно-методическую подготовку студентов и организацию их творческой продуктивной деятельности по созданию для учащихся средней школы компьютерных симуляций УФЭ и проектированию учебного процесса с их применением. Обучение на этой стадии осуществляется в рамках методических дисциплин предметных модулей вариативной части учебного плана и включает *два этапа*.

Первый этап. На этом этапе для достижения поставленных целей используются обязательные к изучению методические дисциплины и курсы по выбору, осваиваемые студентами в 5–8 семестрах. В ходе занятий в рамках этих дисциплин и курсов рассматриваются на базовом уровне включенные в их содержание как следствие реализации МДС отдельные вопросы *дисциплинарно-распределенной программы* обучения. Знания и умения в области компьютерного моделирования, приобретенные студентами на первой стадии обучения, на этом этапе используются уже в решении ряда методических задач обучения физике. Внимание студентов при освоении программ учебных дисциплин этого этапа подготовки обращается на следующие вопросы:

1) содержание и методика формирования у учащихся в курсе физики средней школы представлений о физическом и компьютерном экспериментах как методах научного познания;

2) методика формирования у учащихся экспериментальных умений и особенности ее реализации с применением средств виртуальной среды;

3) методика формирования умений в планировании и проведении компьютерного эксперимента в предметной области знаний (физика);

4) требования к отбору для учебного занятия по физике «готовых» компьютерных симуляций: симуляторов физического эксперимента и КС для проведения компьютерного эксперимента;

5) методика использования КС на учебных занятиях разных организационных форм; дидактическое сопровождение самостоятельной работы учащихся с компьютерными симуляциями.

Второй этап соотносится с освоением методических дисциплин и курсов по выбору 9–10 семестров (табл. 9). Ключевыми вопросами для рассмотрения на этом этапе являются следующие:

1) технология проектирования и разработки компьютерных симуляций для учебного процесса по физике: а) моделей-симуляторов физического эксперимента; б) КС для проведения компьютерного эксперимента.

2) методика проектирования и разработки дидактических материалов для самостоятельной работы учащихся: а) с компьютерными симуляторами физического эксперимента; б) по выполнению компьютерного эксперимента, связанного с исследованием физических явлений (объектов, процессов).

3) методика проектирования учебных занятий с применением КС.

На втором этапе организуется *продуктивная проектная деятельность* студентов. Для этой цели на основе анализа учебного плана целесообразно выбрать соответствующие содержанию проектной деятельности дисциплину и/или курс по выбору. В нашем исследовании для реализации модели продуктивного обучения были задействованы курс по выбору «*Применение компьютерных моделей в обучении физике*» (9 сем.) и учебная дисциплина «*Проектирование информационных систем в образовании*» (10 сем).

Программы обучения по указанным дисциплине и курсу включают выполнение каждым студентом *творческого проекта*. Работа над проектом реализуется через систему взаимосвязанных *продуктивных актов*, в процессе выполнения которых обучающимся не только создается готовый к применению цифровой ресурс, но и осваивается содержание программ обучения избранных дисциплины и курса. Это содержание *2-го и 3-го учебных модулей* дисциплинарно-распределенной программы подготовки студентов. Программы модулей включают примерный перечень проектов для разработки. Примеры проектов приведены в *приложении 2* (2.12, с. 435–453).

Значимой составляющей содержания программы обучения на этом этапе является ее *обогащенное методологическое содержание*. Овладение выпускником педвуза методологического инструментария проектной деятельности определяет уровень его готовности к самостоятельному проектированию обновленной педагогической практики. Этот инструментарий представлен комплексом методологических регулятивов, определяющих общую стратегию, структуру и логику проектирования учебного процесса и средств его дидактического обеспечения (п. 2.1.3, с.128). Данный комплекс регулятивов является предметом освоения студентами в процессе их проектной деятельности как на контекстуальном, так и на процессуальном уровнях (Д. А. Антонова) [15].

На этом этапе обучения имеющиеся у студентов знания и умения (методологические, технологические, предметные методические) проходят заключительную фазу становления (расширения, углубления, конкретизации) и воплощаются в конкретном цифровом ресурсе. Качество ресурса и проекта учебного занятия с его использованием являются показателями уровня сформированности *профессиональной методологической компетенции* будущего учителя: готовности к проектированию педагогической практики, связанной с обучением школьников компьютерному моделированию физических процессов как *методу познания* и применением КС как *эффективного средства обучения*.

Целесообразна *апробация* студентами созданных компьютерных симуляций и цифровых дидактических материалов для их сопровождения. Это может быть выполнено в ходе производственных практик, а также практики НИР. Составляющие созданных студентами цифровых модулей могут быть использованы как в учебном процессе, так и во внеурочной работе по физике в средней школе. Возможны организация выступлений студентов с представлением своих проектов на методических объединениях учителей-предметников по месту педагогической практики, участие в педагогических форумах и профессиональных конкурсах, публикация результатов проектирования.

III. Методы и средства обучения. На завершающем этапе подготовки при организации продуктивного обучения студентов использовалась модель системы методов обучения, предложенная Е.В. Оспенниковой [103]. Системообразующим началом в построении данной модели в ее уточненном и конкретизированном применительно к PL варианте являются основные типы источников информации образовательной среды окружения и виды деятельности студентов с этими источниками (*методы учения/научения*).

К разновидностям информационно-образовательной среды (ИОС) относятся *естественная* ИОС (включающая природу, техносферу и социум) и *искусственная (педагогическая)* ИОС как проекция естественной среды окружения, адаптированная под конкретные образовательные задачи [103, с. 149–153]. С целью подготовки студентов вуза в системе PL может использоваться любая из этих разновидностей, т.е. это может быть *среда реальной профессиональной деятельности* или *учебная квазипрофессиональная среда*, имитирующая содержание, нормы и правила деятельности специалистов какой-либо области социальной практики, а также требования к ее результату. Важным является формирование ИОС с полным составом источников информации, содержание которых должно иметь необходимый профессиональный контекст.

В случае применения *квазипрофессиональной среды продуктивного обучения* в учебных лабораториях и кабинетах, где организуются занятия, должны быть представлены: 1) лабораторный комплекс физического эксперимента для

изучения/исследования физических явлений; 2) комплекс аппаратных средств вычислительной техники, программного и ресурсного обеспечения для их использования с целью изучения опыта разработки вычислительных систем и их самостоятельного проектирования; 3) учебные и профессиональные публикаций разных форм и жанров (психолого-педагогические, научно-методические, специальные научные), соответствующие программе обучения; 4) виртуальная профессиональная образовательная среда, включающая ресурсы, инструменты по тематике проектной деятельности; 5) среда профессиональной коммуникации (студентов, преподавателей, профильных специалистов, заказчиков проекта, экспертов, учителей и учащихся средней школы); 6) среда игрового профессионального взаимодействия (комплекс учебных деловых игр и средств реализации игровых технологий). Если задействована *профессиональная среда продуктивного обучения*, то в ней должны иметь место реальные аналоги указанных выше источников, которые используются в учреждении, избранном для предпрофессиональной подготовки будущих выпускников вуза. Составляющие ИОС образуют систему средств обучения.

В рамках настоящего исследования применялся комплекс источников информации профессиональной среды продуктивного обучения *Лаборатории цифровых образовательных ресурсов и педагогического проектирования* ПГГПУ (г. Пермь). Работа студентов была организована по одному из направлений научно-методической деятельности Лаборатории с привлечением штатных преподавателей, аспирантов, программистов и инженера. В процессе самостоятельной работы с источниками информации студенты имели возможность осваивать новые способы приобретения информации, отбирать наиболее рациональные из них, осуществлять поиск и присваивать «готовое» знание, самостоятельно «добывать» (субъективно или объективно) новые знания.

Особую группу источников информации представляют субъекты среды коммуникации, одним из которых является преподаватель-продуктивист. Виды учебной деятельности в среде коммуникаций по отношению к другим типам источников информации специфичны. В среде коммуникаций любой субъект

рассматривается как *носитель освоенного профессионального знания и опыта деятельности* и является их транслятором. К методам трансляции относятся: 1) монолог (рассказ, объяснение); 2) диалог (обсуждение, дискуссия, полемика); 3) демонстрация различных объектов и процессов, а также образцов действий и операций. При необходимости субъектами образовательного процесса осуществляется текущий контроль и коррекция адекватности восприятия студентом транслируемых знаний и способов деятельности.

Ведущим методом в среде коммуникации в системе РЛ является *диалог*. Обсуждения и дискуссии по содержанию проектной деятельности в среде коммуникаций – это не только средства получения информации, но инструменты реализации таких социальных стратегий как *приобщение* и *обогащение*, так как личностный опыт членов команды разработчиков, транслируемый в процессе информационного обмена всегда шире, чем рамки опыта решения конкретной проектной задачи.

Работа обучающегося с каждым из источников информации характеризуется степенью своей завершенности касательно планируемого результата, а также качеством последнего. Деятельность в «*зоне актуального развития*» отличается самостоятельностью и вполне результативна. Работа в «*зоне ближайшего развития*» и, тем более, в «*зоне перспективного развития*» сопряжена с наличием затруднений в ее выполнении и без поддержки со стороны преподавателя (специалиста, программиста, инженера, сокурсников и др.), как правило, не завершается (приостанавливается на каком-либо этапе) или является неуспешной. Однако работа именно в этих зонах обладает наибольшим развивающим потенциалом, обеспечивает формирование новых когнитивных структур психики, развитие продуктивного мышления и овладение новыми способами практической деятельности. К ее результату относится «добытое» студентом самостоятельно субъективно (или объективно) новое знание (концептуальное, процессуальное).

В рассматриваемой модели *методов обучения* для каждой группы источников информации определены способы поддержки учебной деятельности – *методы преподавания* [103, с 149, с.154]. Состав способов поддержки опреде-

ляется психологической структурой деятельности. Это способы: активизации (стимулирования) учебной деятельности, организации ее планирования, выполнения и самоконтроля [103, с.166]. Следует отметить, что данная поддержка может быть реализована на основе разных педагогических стратегий (по В. В. Игнатовой [62]). В нашей модели методов обучения применительно к системе РЛ используются различные стратегии поддержки продуктивной деятельности: *активизации, проблематизации, ориентирования, содействия, сопровождения, оптимизации, интенсификации.*

Под *стратегией поддержки деятельности* обучающегося понимается совокупность специфических действий преподавателя и средств их осуществления, направленных на обеспечение необходимого качества данной деятельности (мотивированности, завершенности, рациональности, оптимальности, интенсивности и др.) как показателя ее успешности. Приведенные выше стратегии поддержки не являются рядоположенными. Ведущими в этом составе являются стратегии *содействия* и *сопровождения*, которые реализуются через систему прочих стратегий. Стратегия *содействия* связывается с оказанием помощи студенту в его познавательной и практической деятельности на основе прямого обучающего взаимодействия, стратегия *сопровождения* – с созданием условий и применением соответствующих средств, направленных на грамотное планирование студентом деятельности, рациональный выбор методов и средств достижения поставленной цели, обеспечение поэтапного выполнения, текущий и итоговый самоконтроль результатов. Сопровождение может осуществляться, например, на основе стратегии *активизации*, которая связана со стимулированием мотивационно-потребностной сферы обучающегося, или стратегии *ориентирования*, реализуемой через применение обобщенных схем выполнения отдельных действий и операций.

Поддержка конкретной деятельности обучающегося может осуществляться как на основе одной стратегии, так и с применением их комбинаций. В рамках каждой стратегии может быть использован широкий спектр педагогических приемов ее реализации, ориентированных на разные составляющие

психологической структуры деятельности. На рисунке 16 в качестве примера указаны некоторые из стратегий поддержки компонентов психологической структуры деятельности (*содействия* и *сопровождения* через активизацию на основе приемов стимулирования).



Рис. 16. Стратегии поддержки элементов психологической структуры деятельности

Следует отметить особенности поддержки работы обучающихся в среде коммуникаций (среде субъект-субъектного общения). В данной среде наряду с коммуникативной представлены интерактивная (взаимодействие) и перцептивная (взаимопонимание) составляющие общения субъектов учебного процесса. Полисубъектность коммуникаций и разнообразие методов информационного обмена в студенческой группе создают условия для реализации всего многообразия стратегий его поддержки. Задача преподавателя направлять эти процессы, включая в них максимально всех участников проектной деятельности.

В успешности освоения обучающимися опыта самостоятельной квази-профессиональной деятельности и его совершенствовании важную роль играет стратегия *сопровождения*, реализуемая на основе стратегий *проблематизации*, *ориентирования* и *интенсификации*. Особенности реализации этих стратегий применительно к рассматриваемой системе обучения раскрываются в приложении 2 (2.10, с.357–369).

В указанном приложении касательно стратегии *проблематизации* обсуждаются: внутренняя и внешняя проблематика деятельности студента и способы преодоления возникших проблем. К ним отнесены методы проблемного обучения: частично-поисковый в его различных вариантах реализации и исследовательский методы. Обращается внимание на то, что в целом ряде случаев стратегия проблематизации дополняется стратегией содействия.

Стратегия *ориентирования* включает работу студентов с обобщающими их знания и умения методологическими регулятивами проектной деятельности 1–15 (п. 2.1.3, с. 102 – 129). В случае затруднений в планировании проектной работы используется стратегия сопровождения, которая тоже может дополняться стратегией содействия, например, в форме совместной разработки с преподавателем плана выполнения различных этапов проекта.

Наиболее сложной и трудоемкой в реализации является стратегия *интенсификации* проектной деятельности. При этом данная стратегия является весьма востребованной в условиях продуктивного обучения студентов. В рамках настоящего исследования сформулированы основные условия интенсификации учебного процесса PL, дано их обоснование и определены «педагогические формулы» реализации.

Первое условие: систематическая работа преподавателя по совершенствованию мотивационно-потребностной сферы и системы познавательных процессов обучающихся, формированию у них способов умственных действий, а также практических умений и навыков. *Формула реализации:* 1) развитие положительной мотивации учения; 2) наращивание темпа обучения на основе системной работы по совершенствованию познавательного потенциала обучающихся; 3) учет индивидуального стиля познавательной деятельности и обеспечение ее стилевого разнообразия; 4) развитие творческого мышления, формирование индивидуального стиля творческой деятельности;

Второе условие: выбор эффективных способов предъявления учебной информации (концептуальной, процессуальной). *Формула реализации:* 1) опора на укрупненные дидактических единицы содержания обучения, связанные

с элементами системы методологического знания; 2) использование визуализуемых схем представления методологического знания; 3) полимодальность представления содержания обучения, в том числе с применением возможностей виртуальной информационной среды; 4) интеграция содержания фундаментальной и методической составляющих профессиональной подготовки студентов;

Третье условие: ликвидация/снижение непроизводительных временных затрат учебной работы. *Формула реализации:* 1) осознанность структуры проектной деятельности; 2) ее технологическое обеспечение (материальное, информационное, дидактическое); 3) рефлексия продуктивной деятельности как инструмент осознанной саморегуляции и самопознания; 4) обеспечение разнообразных форм и способов взаимодействия участников проекта.

Знание и применение разных стратегий поддержки самостоятельной работы обучающихся позволяет преподавателю обеспечивать «тонкие настройки» в применении методов продуктивного обучения, осуществлять индивидуальный подход к профессиональной подготовке студентов, создавать необходимые условия для освоения опыта профессионального познавательного сотрудничества в решении проектных задач.

IV. Формы занятий. Цели, содержание, методы продуктивного обучения должны быть обеспечены соответствующими их особенностям организационными формами построения учебного процесса. В рамках рассматриваемой методической системы целесообразно применение следующих форм учебных занятий: *лекции, практические и лабораторные занятия, самостоятельная работа, формы коллаборативного обучения, учебная конференция.* Важен не только выбор форм обучения, но и определение их видовой специфики

Лекции. Данная форма обучения используется в ограниченном объеме. Проводится одна *вводная лекция* (информационная), на которой студенты знакомятся с задачами и программой дисциплины/курса, особенностями организации учебного процесса, его технологическим обеспечением, направлениями и спецификой самостоятельной работы, формами сотрудничества. Далее студентам предлагаются обзорная и проблемная лекции. В *обзорной лекции* раскрывается основной понятийный аппарат дисциплины с указанием источников

его самостоятельного углубленного изучения, дается характеристика основных методологических регулятивов (1–15) продуктивной деятельности по решению поставленных задач. *Проблемная лекция* включает постановку творческих задач проектной работы студентов и научно-методический анализ возможных подходов к их решению. Изложение материала включает рассмотрение проблем проектной работы, обсуждение вариантов их решения, сравнение разных точек зрения и т.д. Особое внимание при этом уделяется анализу методологических регулятивов 1, 2 и 15, на основе которых обсуждаются научно-методические основы будущего проекта, логика проектной деятельности и ее инновационная составляющая. Целесообразно включение в лекцию элементов диалога со студентами, возможны элементы дискуссии. Представляет интерес *бинарная проблемная лекция*, на которой в качестве лекторов выступают преподаватель и «заказчик» проекта (педагог-практик) или инженер-программист, имеющий опыт решения подобных задач. В ходе работы над проектом возможно (при необходимости) проведение *лекции-консультации*, на которой обсуждается решение накопившихся наиболее сложных общих проблем разработки проектных заданий. На завершающем этапе проводится *обобщающая лекция*. Ее цель состоит в систематизации и обобщении приобретенных студентами знаний и опыта деятельности, внесении в них итоговых корректив.

Практические и лабораторные занятия связаны с проектированием и выполнением индивидуальных заданий. На занятиях организуется самостоятельная работа студентов, их сотрудничество в решении общих проблем. Используются для этой цели лабораторный комплекс школьного физического эксперимента и компьютерный класс для разработки компьютерных симуляций. Студенты имеют возможность использовать оборудование, ресурсы и научно-методическое обеспечение Лаборатории ЦОР и педагогического проектирования. Преподаватель, программист и инженер Лаборатории реализуют при необходимости ту или иную стратегию поддержки самостоятельной работы студентов, оказывают содействие в выполнении наиболее сложных ее этапов.

Самостоятельная работа в домашних условиях занимает 60% от аудиторных занятий и работы в Лаборатории ЦОР и педагогического

проектирования. Данная работа поддерживается участниками проекта за счет реализации *форм коллаборативного обучения*. Сотрудничество обеспечивается, в том числе, и в дистанционном режиме с применением веб-сервисов.

Учебная конференция. На конференции организуется презентация подготовленных студентами проектов, раскрываются особенности проектных решений (методических, технологических). Присутствующий на конференции «заказчик» представляет экспертное заключение по проектам. Обсуждаются возможные направления дальнейшей работы над проектами, включая дипломное проектирование, подготовку публикаций, участие в конкурсах и т.п. Альтернативой учебной конференции может быть *научно-методический семинар*, что определяется уровнем готовности студентов каждой конкретной группы к данной форме представления авторских проектов.

К важным особенностям разработанной в настоящем исследовании методической системы продуктивного обучения относятся: устранение смысловых и временных «разрывов» теории и практики в системе профессиональной подготовки, обеспечивающее ее осознанность, мотивированность, эмоционально-ценностный контекст, и методологическая направленность как средство самоорганизации профессиональной деятельности, активизации профессионального самообразования, ориентации на инновационные решения в проектировании учебного процесса (Д. А. Антонова) [15, 16].

2.4. Составляющие технологии продуктивного обучения студентов созданию компьютерных симуляций физического эксперимента и проектированию учебных занятий с их использованием

Педагогическая технология является практическим воплощением в реальном учебно-воспитательном процессе составляющих методическую систему обучения элементов. По определению А. М. Новикова это «процессуальная подсистема» педагогической (методической) системы [97, с.364]. Это проект педагогического процесса, отражающий системный способ его построения в виде *совокупности конкретизаций*: содержания учебного материала, этапов

его освоения учащимися, действий и операций преподавателя на данных этапах, направленных на достижение поставленных и строго диагностируемых целей (В. П. Беспалько) [33]. В основе педагогической технологии лежит идея управляемости и воспроизводимости процесса обучения.

Структурными компонентами педтехнологии как системной категории являются: 1) субъекты процесса обучения; 2) цели обучения как его стратегические ориентиры; 3) содержание учебного материала; 4) организация учебного процесса (структура, циклы, стадии, этапы); 5) средства обучения, в том числе средства взаимодействия субъектов педагогического процесса; 6) прогнозируемый результат обучения (уровень образовательных достижений обучающихся) и средства его диагностики. При рассмотрении технологии обучения выделяют уровни ее масштабирования, а именно технологии: создания и разрешения учебной ситуации; проведения учебного занятия; преподавания учебной темы, учебной дисциплины, учебного модуля ООП и т.д.

Рассмотрим содержание базовых составляющих технологии продуктивного обучения будущих учителей созданию и применению в школьной практике компьютерных симуляций физических процессов как метода познания и средства обучения. Уровень масштабирования при этом связывается с преподаванием учебного курса по выбору «Применение компьютерных моделей в обучении физике» и дисциплины «Проектирование информационных систем в образовании».

Компоненты I–III. *Субъекты процесса PL, его стратегические цели и содержание учебного материала.*

К субъектам образовательного процесса относятся: 1) студенты; 2) ведущий преподаватель и преподаватели учебных дисциплин, с которыми реализуются МПС; 3) сотрудники Лаборатории ЦОР и педагогического проектирования, на базе которой организуется учебный процесс (программисты, инженер); 4) представители заказчика; 5) приглашенные специалисты в области разработки ЭОР; 6) учителя физики и учащиеся средних школ.

Стратегические цели подготовки студентов определены в структуре методической системы обучения (п. 2.3, с. 139). Приоритетной из них в настоящем исследовании является формирование *профессиональной методологической компетенции* будущих учителей физики в области разработки и применения в учебном процессе компьютерных симуляций. Объект разработки – компьютерные симуляции УФЭ видов УКСЛЭ или УВЛЭ и практика их применения при обучении физике в средней школе.

Содержание учебного материала представлено содержанием 2-го и 3-го учебных модулей дисциплинарно-распределенной программы подготовки студентов к применению при обучении физике в средней школе компьютерных симуляций (на примере симуляций УФЭ) (*прил.2 (2.9)*, с. 353–355). Освоение программы модулей осуществляется преимущественно за счет самостоятельной мотивированной практико-ориентированной деятельности студентов. Ее результатом являются созданные студентами конкретные и социально значимые продукты. Учебный материал интегрирован в исполняемые проекты и осваивается в процессе работы над ними.

При построении системы продуктивных проектов преподавателю следует учитывать ряд требований к их содержанию, а именно: 1) социальная значимость результатов проектирования и их востребованность в педагогической практике; 2) соответствие концептуальных и процессуальных знаний, необходимых для выполнения проекта, содержанию учебной программы дисциплины, в рамках которой организуется продуктивное обучение; 3) возможность «разбиения» проекта на совокупность относительно самостоятельных *продуктивных актов*; 4) соотнесение уровня доступности выполнения проекта с «зоной ближайшего развития» студента; 5) вариативность объема и сложности работы над проектом; 6) тематическое разнообразие предметного содержания курса физики, на базе которого может быть выполнен проект; 7) вариативность компьютерных технологий реализации проекта; 8) наличие перспективных линий в его развитии; 9) реализация инициативных проектных решений студентов (методических, технологических); 10) обеспечение в содержании проектных

заданий «*оси сотрудничества*» студентов (предметно-содержательной, методической, технологической).

В соответствии с данными требованиями студентам предлагается разработка цифрового интерактивного модуля по физике как средства обучения школьников методологии компьютерного моделирования физических процессов. Ниже приведена структура цифрового модуля. Состав его элементов отражает систему *продуктивных актов* проекта, под которыми понимается обеспечивающая получение конечного продукта система познавательных и практических действий студента.

СТРУКТУРА ЦИФРОВОГО УЧЕБНОГО МОДУЛЯ

(система продуктивных актов)

1. Локальная версия цифрового модуля.
 - а) интерактивная компьютерная модель физического эксперимента:
 - вида УКСЛЭ;
 - вида УВЛЭ:
 - с квазиреалистичным интерфейсом,
 - стандартным классическим интерфейсом,
 - выбором пользователем вида интерфейса;
 - б) комплект дидактических материалов к работе с моделью:
 - сведения из истории,
 - теоретический материал,
 - инструктивные материалы:
 - интерактивная рабочая тетрадь с инструктивными указаниями;
 - видеоинструкция;
 - интерактивная инфографика, демонстрирующая порядок работы с симулятором физического эксперимента (УКСЛЭ);
 - комплект материалов для углубления знаний и умений, их закрепления и самоконтроля:
 - интерактивное видео;
 - дополнительные учебные задания, в том числе повышенной сложности;
 - интерактивный тест;
 - образец отчета о работе;
 - информационный блок «Управление моделью».

2. Веб-версия учебного модуля (*аналогична по структуре п. 1*).
3. Проект учебного занятия по физике (или его фрагмент) с применением материалов и ресурсов учебного модуля.
4. Комплект цифровых приложений к модулю (ресурсов и материалов, аналитических текстов, эссе и др.).
5. Аннотация цифрового модуля.

Студентам для выполнения проекта предоставляется выбор учебной темы курса физики и конкретного физического эксперимента для его моделирования в виртуальной среде (*учебного лабораторного или демонстрационного, современного научного эксперимента, прикладного физико-технического, виртуальной реконструкции исторического эксперимента*).

Процесс выполнения проекта представлен в виде системы концептуальных и процессуальных продуктивных актов. Это позволяет, с одной стороны, направлять деятельность студента в сторону углубленного анализа подходов к разработке идеи проекта, ее методологических и научно-методических оснований, с другой – контролировать процесс становления его профессиональных ЗУН в решении проектной задачи. Соответственно в составе проекта выделены его концептуальная и процессуальная части.

Концептуальная составляющая содержания проекта связана с выдвижением и разработкой идеи создания цифрового учебного модуля, определением его конкретной структуры, содержания и функционала ее элементов. Концепт цифрового учебного модуля формируется фактически как гипотеза об эффективности предполагаемого преобразования педагогической практики с его использованием.

Системообразующим началом в определении состава и содержания *концептуальных продуктивных актов* является программа обучения. Могут быть сформулированы требования к их системе: 1) проблематизация концептуального знания; 2) его соотнесенность с процессуальной составляющей проекта; 3) возможность самостоятельного пополнения концептуального знания из различных источников (учебной и специальной научной литературы, научно-методических публикаций, цифровых образовательных ресурсов, специальных учебных материалов по дисциплине); 4) публичность обсуждения результатов

самостоятельной работы студентов с источниками информации; 5) ориентация на накопление, систематизацию и обобщение приобретенных знаний, стимулирование выдвижения на этой основе авторских идей; 6) необходимость оформления результатов концептуальных продуктивных актов в виде компонентов прогнозируемой модели цифрового модуля.

Ниже в *таблице 10* приведена система концептуальных продуктивных актов в виде заданий для самостоятельной работы студентов и форм представления ее результатов, указаны используемые при выполнении заданий методологические регулятивы (МР) (п. 2.1.3, с. 102). Их содержание и назначение обсуждаются в вводной проблемной лекции. Следует отметить, что *методологический регулятив 15* относится к практике проектной работы в целом.

В содержании таблицы используются термины «*предметная тема проекта*» и «*тема цифрового учебного модуля*». Например, предметная тема проекта «*Законы постоянного тока (10 класс)*», а тема цифрового учебного модуля «*Закон Ома для полной цепи*», базовым элементом которого является компьютерная симуляция соответствующего физического эксперимента.

Таблица 10

Концептуальная составляющая проектирования
(регулятив 15)

<i>Задания для самостоятельной работы студентов</i>	<i>Форма представления результата выполнения задания</i>
1	2
<p>К1. Выполнить анализ программы курса информатики средней школы (9, 10, 11 классы). Дать обоснованную оценку уровня потенциальной готовности учащихся средней школы (их знаний и умений в соответствии с программой обучения) к применению метода компьютерного моделирования (КМ) в изучении физических явлений (в основной и старшей школах). Определить на этой основе возможность реализации МПС физики и информатики (в работе учащихся с «готовыми» компьютерными симуляциями, в самостоятельном создании КС). МР: 1, 2, 3, 4, 5.</p>	<p><i>Свободный аналитический конспект</i> (текстуальный анализ, аргументированное заключение относительно предметной практики применения КС в обучении физике в основной и старшей школах) <i>Обсуждение в малой группе. Представление результатов обсуждения в академической группе</i></p>
<p>К2. Дать обоснование утверждению: «Применение КМ должно обеспечивать не только расширение представлений учащихся о сущности данного метода за счет освоения начального опыта его применения в исследовании физических явлений.</p>	<p><i>Академическое эссе</i> (защитить, подкрепить аргументами, примерами и развить тезис).</p>

1	2
<p>Следствием должны стать углубление на этой основе знаний по физике и совершенствование общей методологической подготовки по предмету, включая осознание взаимосвязи КМ с другими методами познания в области физической науки (эмпирическими, теоретическими). МР: 1, 3, 4, 5, 10, 11.</p>	<p><i>Обсуждение в малой группе. Представление результатов обсуждения в академической группе.</i></p>
<p>К3. Анализ структуры КМ как метода познания. Оценка уровня доступности освоения учащимися этапов КМ (профильный и базовый уровни подготовки учащихся). МР: 1, 2, 4, 5, 14.</p>	<p><i>Аналитический обзор</i> (анализ подходов к выделению этапов КМ, оценка уровня сложности данных этапов, аргументированное заключение). <i>Обсуждение в малой группе. Сообщение с презентацией в академической группе</i></p>
<p>К4. Анализ структуры учебного физического эксперимента (УФЭ) как метода познания (состав и последовательность этапов выполнения). Оценка целесообразности компьютерной симуляции УФЭ как средства дополнительной подготовки учащихся по методологии экспериментального исследования. Теоретико-методологические основы формирования у учащихся умений и навыков учебного исследования МР: 1, 2, 6, 7, 10, 11</p>	<p><i>Аналитический конспект</i> (план-конспект): примеры применения компьютерных симуляций УФЭ в обучении физике, рекомендации по использованию и их обоснование <i>Индивидуальная работа с преподавателем. Обсуждение рекомендаций в академической группе.</i></p>
<p>К5. Особенности применения метода КМ при обучении физике на базовом и профильном уровнях (специфика содержания, методов и средств обучения). Теоретико-методологические основы формирования у учащихся умений и навыков учебного исследования МР: 1, 2, 4, 5, 8, 10, 11, 14</p>	<p><i>Реферативный обзор</i> (по материалам научно-методических публикаций, примеры и рекомендации по использованию КМ в обучении, их обоснование, выводы). <i>Обсуждение в малой группе. Сообщение с презентацией в академической группе.</i></p>
<p>К6. Выбор предметной темы проекта и темы цифрового учебного модуля. Анализ методики преподавания учебной темы проекта и учебной темы модуля в курсе физики средней школы. МР: 8, 9, 12.</p>	<p><i>Конспект</i> по материалам учебников и учебных пособий (отбор и систематизация методической информации по теме модуля) <i>Обсуждение предметной темы проекта в малой группе.</i> <i>Индивидуальная работа: обсуждение учебной темы модуля с преподавателем</i></p>
<p>К7. Изучение учебного оборудования, методики и техники постановки физического эксперимента как объекта компьютерной симуляции (по теме учебного модуля). Анализ возможностей разработки по теме модуля дополнительных экспериментальных заданий, в том числе повышенной сложности. МР: 6, 7, 8.</p>	<p><i>Конспект</i> по материалам учебников и учебных пособий (систематизированное описание УФЭ и вариантов его постановки). <i>Лабораторная работа</i> (сбор данных, поэтапный анализ выполнения эксперимента, обработка результатов, подготовка типового отчета). Отчет.</p>

1	2
	<p><i>Творческий лабораторный эксперимент</i> (подбор и постановка дополнительных экспериментальных заданий по теме учебного модуля). Отчет.</p> <p><i>Индивидуальная работа: обсуждение с преподавателем.</i></p>
<p>К8. Анализ методологических и дидактических функций КС разных видов. Поиск и изучение по теме проекта и теме учебного модуля доступных к применению компьютерных симуляций физических процессов, модельных конструкторов, оценка их возможностей как средства формирования у учащихся опыта компьютерного моделирования и как средства усвоения знаний по физике. МР: 6, 7, 8, 10, 11.</p>	<p><i>Реферативно-аналитическая работа</i> (характеристика и аргументированная оценка методологических и дидактических функций «готовых» компьютерных симуляций физических процессов, обоснованные рекомендации по применению данных КС в обучении).</p> <p><i>Обсуждение в малой группе при участии преподавателя.</i></p>
<p>К9. Анализ методологических и дидактических функций КС учебного физического эксперимента. Поиск и анализ по теме проекта и теме учебного модуля доступных к применению КС и модельных конструкторов, предназначенных для симуляции УФЭ. Оценка их возможностей в совершенствовании практики подготовки учащихся в области методологии физического эксперимента. Построение <i>авторской фасетной формулы</i> компьютерной симуляции УФЭ, (формирование замысла проекта) МР: 9-12.</p>	<p><i>Реферативно-аналитическая работа</i> (характеристика и аргументированная оценка методологических и дидактических функций симуляций УФЭ, обоснованные рекомендации по применению в обучении).</p> <p><i>Аннотация авторской фасетной формулы компьютерной симуляции УФЭ</i></p> <p><i>Обсуждение в малой групп при участии преподавателя.</i></p> <p><i>Индивидуальная работа: обсуждение фасетной формулы КС УФЭ.</i></p>
<p>К10. Оценка возможностей реализации взаимосвязи компьютерного и физического экспериментов. Анализ способов этой взаимосвязи (развитие замысла проекта). МР: 3, 4, 5.</p>	<p><i>Аналитический обзор</i> (анализ подходов к решению данной методической задачи, систематизация информации).</p> <p><i>Обсуждение в академической группе</i></p>
<p>К11. Анализ составляющих пользовательских интерфейсов учебных компьютерных симуляций по теме проекта в целом и теме учебного модуля. Обзор тенденций развития интерфейсных решений для учебных компьютерных симуляций (развитие замысла проекта). МР: 5, 7, 12, 13,</p>	<p><i>Аналитический обзор</i> (анализ подходов к разработке пользовательских интерфейсов, тенденций в развитии интерфейсных решений, аргументированные предложения по их использованию в разработке авторского проекта).</p> <p><i>Подготовка презентации и обсуждение в рамках малой группы. Рассмотрение авторских идей в академической группе.</i></p>
<p>К12. Анализ дидактических материалов для самостоятельной работы учащихся с компьютерными симуляциями УФЭ. Оценка их видовой разнообразия и роли в совершенствовании предметных ЗУН, в том числе исследовательских.</p>	<p><i>Аналитический обзор</i> (анализ и систематизация подходов к решению поставленной задачи, выводы относительно тенденций в развитии решений).</p>

1	2
Теоретико-методологические основы разработки дидактических материалов для самостоятельной работы учащихся с компьютерными симуляциями (развитие замысла проекта). МР: 1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12.	<i>Обсуждение в малой группе. Сообщение и обсуждение в академической группе</i>
К13. Формулировка предложений по составу дидактических материалов к авторской симуляции УФЭ по теме цифрового модуля. Определение их назначения и разработка содержания, предусматривающего совершенствование у учащихся на их основе предметных знаний и формирование учебных умений, в том числе обобщенных. Определение интерактивного функционала дидактических материалов (развитие замысла проекта). МР: 7, 8, 9, 11, 12.	<i>Аннотация системы дидактических материалов цифрового модуля (состав и характеристика материалов, обоснование подхода к разработке их содержания и интерактивного функционала) Обсуждение с преподавателем и программистом Лаборатории, заказчиком проекта. Деловая игра</i>
К14. Анализ открытых источников, включающих проекты учебных занятий с применением компьютерных моделей физических процессов, в том числе симуляторов УФЭ. Оценка реализуемых направлений работы с компьютерными симуляциями на занятии (углубление и закрепление знаний по учебной теме, формирование у учащихся экспериментальных умений, освоение опыта компьютерного моделирования). (развитие замысла проекта). МР: 5-8, 14.	<i>Аналитический обзор по материалам публикаций и ресурсов сетевых сообществ учителей-предметников (анализ и систематизация подходов к организации учебной работы с КС на занятии, выводы относительно методических решений авторов по использованию КС в учебном процессе по физике, предложения по преобразованию педагогической практики). Обсуждение в малой группе. Сообщение и обсуждение в академической группе. Деловая игра (на примере разработки отдельного занятия).</i>
К15. Обзор графических редакторов и технологий компьютерного моделинга.	<i>Аналитический обзор (характеристика ресурсов, тенденций развития, рекомендации к выбору)</i>
К16. Характеристика сред и языков программирования для разработки компьютерных симуляций.	<i>Обсуждение в малой группе.</i>
К17. Обзор инструментов разработки цифровых дидактических материалов, включая веб-сервисы для сопровождения работы учащихся с компьютерными моделями.	<i>Сообщение с презентацией и обсуждение в академической группе с участием инженера и программиста Лаборатории.</i>
К18. Подготовка аннотации и презентации проекта, апробация результатов проекта. МР: 1, 2, 10, 11, 12, 13, 14.	<i>Аннотация проекта. Публичное выступление. Педпрактика. Публикация*. Участие в конкурсе*. Регистрация.*</i>

Результатом выполнения концептуальных продуктивных актов является поиск, анализ, систематизация и обобщение специальной научной и научно-методической информации по теме проекта. Студентами для решения постав-

ленных задач самостоятельно прорабатывается не только «готовое» знание, но и «добывается» субъективно новое, выдвигаются авторские идеи касательно разработки элементов цифрового учебного модуля.

Представленные студентами индивидуальные концепции проектов обсуждаются с преподавателем (заказчиком). На основе их анализа принимается решение о содержании инвариантной составляющей структуры создаваемых в студенческой группе цифровых модулей и их вариативных составляющих в рамках каждого отдельного проекта. Структура цифрового модуля была представлена выше (с. 159). Вариативными в ней являются составляющие 1.1. (выбор вида создаваемой модели) и 1.2. (состав комплекта дидактических материалов, при этом рабочая тетрадь относится к инварианту).

Важным результатом концептуальной составляющей проектной деятельности студентов является подготовка по ее результатам публикации методической статьи или тезисов. Минимальной к исполнению эпистолярной формой этой работы служит аннотация подготовленного проекта.

Процессуальная составляющая проекта представлена выполнением студентами следующих продуктивных актов:

1) углубленное изучение и освоение дополнительных возможностей компьютерных технологий, избранных для реализации проекта (*задание П1*);

2) разработка компьютерных моделей физических приборов и модели экспериментальной установки (в 2-D / 3-D форматах) (*задание П2*); **МР: 11, 13;**

3) создание модели виртуальной лаборатории (в 2-D / 3-D форматах), в которой пользователь будет выполнять эксперимент (*задание П3*); **МР: 13;**

4) разработка проектов учебных сцен и пользовательского интерфейса компьютерной симуляции физического эксперимента (вида УКСЛЭ или УВЛЭ) (*задание П4*); **МР: 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13;**

5) разработка цифровых дидактических материалов к учебному модулю (*задание П5*); **МР: 7, 8, 9, 11, 12;**

б) реализация интерактивного функционала КС и дидактических материалов ее сопровождения в избранной среде разработки; сборка проекта в форме цифрового учебного модуля (*задание П6*); **МР: 7, 8, 9, 11, 12, 13.**

7) создание веб-версии цифрового учебного модуля (*задание П7*); **МР:13.**

8) разработка проекта учебного занятия (фрагмента), включающего описание методики применения цифрового модуля в учебном процессе по физике (реализация методологических и дидактических функций КС в формировании ЗУН учащихся, учет взаимосвязи физического и компьютерного экспериментов; организация выполнения физического эксперимента во взаимосвязи с работой на его компьютерном симуляторе, использование дидактических материалов модуля) (*задание П8*); **МР: 2-8 12, 14.**

Выполнение заданий П5–П8 связано с реализацией замысла проекта. В процессе реализации первоначальные идеи проектирования подлежат уточнению и дополнению. Результаты работы над заданиями следует сопровождать внутренней экспертизой в студенческой группе (*коллективная рефлексия, взаиморефлексия*), целесообразен контроль в ряде случаев средствами деловой игры. Система процессуальных актов должна быть соотнесена с содержанием профессиональных задач преобразования педагогической практики в направлении применения в учебном процессе компьютерных моделей УФЭ как инструмента познания и средства обучения.

Выбор компьютерных технологий реализации проекта осуществляется студентами самостоятельно и существенно зависит от уровня их подготовки в области программирования, имеющихся навыков работы с различными приложениями и веб-сервисами, а также готовности к самостоятельному изучению новых средств ИКТ. Это инструменты: 1) создания виртуальных моделей экспериментальных установок; 2) реализации их интерактивного функционала (языки программирования и программные среды); 3) разработки цифровых дидактических материалов, 4) сборки элементов модуля в единую информационную систему; 5) подготовки веб-версии модуля.

Выполнение заданий концептуального и процессуального типов осуществляется с использованием методологических регулятивов

Организация учебного процесса PL. Организация обучения соотнесена с рассмотренной в п. 2.1.3 *методологией проектирования педагогической практики*, его фазами, стадиям и этапами (*регулятив 15*) (с. 125–127). На каждом этапе разработки проекта имеет место соответствующая ему интеграция концептуальных и процессуальных продуктивных актов. Ниже приведены состав этапов проектной работы и соответствующие каждому этапу задания концептуального и процессуального типа для самостоятельной работы студентов и работы в сотрудничестве.

Первый этап. Анализ проблематики PL, определение объекта проектирования (K1–K5, K15, K16, П1).

Второй этап. Предпроектное исследование объекта разработки (K6–K10, П2, П3).

Третий этап. Проектирование пользовательского интерфейса компьютерной симуляции УФЭ (K11, П4).

Четвертый этап. Разработка дидактических материалов к учебному модулю (K12, K13, K17, П5).

Пятый этап. Реализация интерактивного функционала элементов учебного модуля и их сборка в единую информационную систему (K15–K17, П6).

Шестой этап. Создание веб-версии цифрового модуля (K17, П7).

Седьмой этап. Разработка плана апробации проекта (включая подготовку учебного занятия с применением КС), его реализация (K14, K18, П8).

Восьмой этап. Подведение итогов выполнения проекта.

Содержание и особенности технологии работы на каждом этапе приведены в *приложении 2* (2.11, с. 369–435).

IV. Средства PL. К средствам обучения относятся:

1) составляющие инфраструктуры Лаборатории ЦОР и педагогического проектирования ПГГПУ (комплекс аппаратных средств вычислительной техники и программного обеспечения; библиотека цифровых ресурсов по физике

для средней общеобразовательной школы и научно-методическая библиотека Лаборатории; доступ в Интернет и средства дистанционной коммуникации субъектов образовательного процесса);

2) среда Juniverse для разработки интерактивных учебных сцен (проект Лаборатории ЦОР и педагогического проектирования), обеспечивающая уровеньный подход к реализации данной задачи в зависимости от индивидуальных особенностей технологической подготовки студентов (за счет наличия возможности применения пользователем частичной автоматизации процесса создания модели); учебное цифровое приложение к данной среде, включающее документацию и набор примеров по освоению ее функционала (*прил. 2 (2.11)*, с. 420–421);

2) составляющие инфраструктуры лаборатории школьного физического эксперимента (учебное оборудование, учебно-методическое обеспечения школьного физического практикума, цифровые ресурсы и компьютерная аппаратная техника);

3) специальное учебно-методическое обеспечение РЛ:

а) учебно-методические тексты систематизирующего и обобщающего характера по наиболее сложным вопросам программы обучения;

б) комплекс методологических регулятивов (структурно-системных, структурно-содержательных и структурно-процессуальных), определяющих общую стратегию, структуру и логику проектирования обновленной педагогической практики (объектов, процессов) и предназначенных для сопровождения самостоятельной проектной работы студентов (*регулятивы 1–15*).

в) учебно-методические коллекции материалов РЛ-проектирования, подготовленных студентами предыдущих лет обучения.

Данная система средств обучения охватывает широкий спектр источников информации и инструментов продуктивной практики студентов. Особым средством обучения является среда коммуникаций субъектов продуктивной деятельности. Это среда обмена информацией и сотрудничества, обеспечивающая передачу опыта творческой продуктивной деятельности.

V. Диагностика результатов РЛ. Технология диагностики результатов продуктивного обучения включает критерии, показатели и средства оценки достижений обучающихся. Должен быть определен прогнозируемый результат обучения: *уровень образовательных достижений студентов в области их методологической подготовки.*

Состав критериев для поэлементной диагностики результативности обучения определен на основе анализа структуры и содержания профессиональной методологической компетенции (ПМК). Выделены три группы критериев. *Первая группа* соотнесена с оценкой качества созданного студентом образовательного продукта, *вторая* – с уровнем профессиональных методологических знаний студентов и их готовности к их применению при проектировании учебных занятий по физике с использованием разработанных компьютерных симуляций и сопровождающих их дидактических материалов, *третья* – с характеристикой уровня самостоятельности продуктивной проектной деятельности студента. Подробнее диагностика ПМК рассматривается в *главе 3*. Примеры проектной работы студентов приведены в *приложении 2* (2.12, с. 435–453).

Организация продуктивного обучения относится к технологически сложным и трудоемким педагогическим процессам. Напряженной и непростой является самостоятельная работа студентов, требующая от преподавателя-продуктивиста значительных усилий по ее сопровождению (методологическому, методическому, технологическому). Значимыми компенсирующими факторами при этом являются атмосфера творческого поиска наиболее интересных решений на каждом этапе проектирования, качественный востребованный в школьной практике результат проектной работы, приобретенный каждым студентом реальный опыт продуктивной деятельности (самостоятельный и в сотрудничестве) по преобразованию педагогической практики и освоение методологии этих преобразований.

Выводы по главе 2

1. Обоснована необходимость методологической подготовки будущих учителей к самостоятельной разработке компьютерных симуляций физических процессов и практики их применения в обучении. Освоение студентами основ методологии проектирования практики применения компьютерных симуляций в обучении физике обеспечивает необходимый уровень их профессиональной самостоятельности и открывает возможности для педагогического творчества.

2. Определено содержание профессиональной методологической компетенции (ПМК) будущего учителя в проектировании и применении компьютерных симуляций в учебном процессе по физике как метода познания и средства обучения. Разработан комплекс *методологических регулятивов* как средства сопровождения самостоятельного решения студентами задач в области проектирования учебных КС и практики их включения в учебный процесс. Состав комплекса образуют регулятивы, раскрывающие: 1) структуру методов учебного познания (физического эксперимента, компьютерного моделирования); 2) обобщенные характеристики компьютерных симуляций УФЭ, принципы и требования к их проектированию; 3) методологические аспекты предметной дидактики (*физика*); 4) структуру современного научно-педагогического знания как теоретико-методологической основы поиска и обоснования проектных решений.

3. Подход к формированию ПМК базируется на идее продуктивного обучения. В исследовании уточнен его теоретико-методологический базис. На обновленной теоретико-методологической основе РЛ построена модель продуктивного обучения: уточнено содержание его целей, принципов (*сущностных, атрибутивных*) и условий организации.

4. Разработана методическая система методологической подготовки будущих учителей самостоятельной разработке КС и практики их применения в обучении физике в средней школе. Ее системообразующими факторами (целевого, функционального, структурно-организационного) являются: а) *продуктивное обучение* студентов основам методологии проектирования практики применения КС в учебном процессе по физике; б) применение комплекса

методологических регулятивов как средства сопровождения самостоятельной проектной деятельности; в) опора на междисциплинарные связи фундаментальной и методической составляющих предметной подготовки студентов в области компьютерного моделирования. В составе методической системы обучения в соответствии с указанными факторами определены *цели, содержание, методы, средства и формы занятий*.

5. Раскрыты базовые составляющие технологии реализации методической системы методологической подготовки будущих учителей к проектированию практики применения в учебном процессе по физике компьютерных симуляций: цели и состав субъектов процесса обучения, содержание учебного материала, последовательность и характеристика этапов его освоения, средства обучения и диагностика его результатов.

Проектная деятельность студентов организуется на завершающем этапе обучения в вузе в процессе изучения одной из методических дисциплин учебного плана. Освоение программы дисциплины реализуется через систему продуктивных актов (*контекстуальных, процессуальных*), направленных на создание образовательного продукта. Сформулированы требования к выбору преподавателем-продуктивистом объекта разработки. В соответствии с этими требованиями определены объект проектирования и его структура: *цифровой учебный модуль*, включающий компьютерную модель физического эксперимента, систему цифровых дидактических материалов сопровождения и проект учебного занятия с применением разработанного ресурса. Показана взаимосвязь концептуальных и процессуальных продуктивных актов выполнения проекта на каждом этапе. Дана характеристика форм апробации результатов продуктивной деятельности студентов.

6. Критерием результативности предложенной методической системы и технологии обучения является *уровень сформированности профессиональной методологической компетенции* будущего учителя в области разработки и применения КС в учебном процессе по физике как *метода* познания и *средства* обучения.

ГЛАВА 3. ОРГАНИЗАЦИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПОИСКОВОЙ РАБОТЫ

3.1. Цели, задачи и содержание опытно-поисковой работы. Методика диагностики результативности обучения

Опытно-поисковая работа (ОПР) была проведена в период с 2016 по 2021 гг. на базе Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Цель ОПР состояла в проверке результативности разработанной в настоящем исследовании методической системы обучения будущих учителей созданию и применению в учебном процессе по физике компьютерных симуляций. Прогнозируемым результатом обучения являлся рост уровня методологической подготовки выпускников педагогического вуза в области самостоятельного проектирования педагогической практики, связанной с включением в учебный процесс по физике в средней школе компьютерных моделей как *метода познания и средства обучения*.

Задачи ОПР: 1) выполнить в рамках традиционной лекционно-семинарской модели обучения диагностику уровня сформированности компонентов профессиональной методологической компетенции студентов в области создания и применения КС в учебном процессе по физике; 2) оценить результативность влияния методической системы методологической подготовки, разработанной в настоящем исследовании, на уровень сформированности компонентов ПМК будущих учителей физики в данной области педагогической практики; 3) доказать на разных выборках испытуемых устойчивость (воспроизводимость) результата обучения на основе предложенной методической системы.

В опытно-поисковой работе приняли участие 99 студентов 4-го и 5-го курсов, а также преподаватели, сотрудники, инженеры и программисты Лаборатории ЦОР и педагогического проектирования ПГГПУ.

В ходе *констатирующего этапа ОПР* (2016–2017 гг.) изучалось состояние вузовской подготовки будущих учителей физики в рассматриваемой области педагогической практики. Были определены содержание и способы

диагностики уровня их профессиональной методологической подготовки к применению в обучении физике компьютерных симуляций физических процессов. Выполнена оценка актуального уровня сформированности компонентов ПМК выпускников физического факультета. Проведен анализ причин недостаточной готовности студентов к самостоятельному проектированию практики применения в учебном процессе компьютерных моделей физических процессов как инструмента (метода) познания.

Поисковый этап ОПП (2017–2019 гг.) связан с первичной апробацией и корректировкой методики и технологии обучения, обеспечивающих формирование у студентов профессиональной методологической компетентности в разработке и применении в учебном процессе по физике компьютерных симуляций. На этом этапе отработывалась практика реализации основных составляющих технологии продуктивного обучения, уточнялись на каждом его этапе содержание концептуальных и процессуальных продуктивных актов, состав и особенности реализации стратегий поддержки их выполнения студентами, исследовались возможности разных форм и средств организации самостоятельной и совместной деятельности субъектов обучения. Был выполнен входной и итоговый контроль уровня сформированности компонентов ПМК студентов и выявлен их рост.

Формирующий этап ОПП (2019–2021 гг.) имел своей целью подтверждение результативности разработанных в настоящем исследовании методики и технологии продуктивного обучения студентов созданию и применению в учебном процессе по физике в средней школе компьютерных симуляций. Ставилась задача доказательства влияния предложенного подхода к обучению на рост уровня методологической подготовки будущих учителей физики в рассматриваемой области профессиональной деятельности и воспроизводимости результатов обучения на разных группах испытуемых.

Опытно-экспериментальная работа проводилась в рамках курса по выбору «*Применение компьютерных моделей в обучении физике*» (9 семестр, 2 зет, 28 ауд. часов) и учебной дисциплины «*Проектирование информационных*

систем в образовании» (10 семестр, 3 зет, 44 ауд. часа) основной образовательной программы подготовки выпускников педагогического вуза по направлению 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки «Физика» и «Информатика») и аналогичных дисциплин основной образовательной программы по направлению 09.03.02 Информационные системы и технологии (профиль «Информационные технологии в образовании»).

В процессе опытно-поисковой работы применялся комплекс методов исследования: педагогическое наблюдение, собеседование, опрос, анкетирование, тестирование, анализ выполнения контрольных заданий, экспертиза продуктивной деятельности студентов, методы статистической обработки результатов обучения.

В качестве *интегрального критерия* (K_{II}) результативности обучения был выбран достигнутый студентами *уровень профессиональной методологической компетентности* (ПМК) в области создания и применения в учебном процессе по физике в средней школе компьютерных симуляций физических процессов (на примере симуляций вида УКСЛЭ и УВЛЭ). На основе анализа структуры ПМК (п. 2.1.3, с.140) был определен состав критериев для *поэлементной диагностики* результативности обучения ($K_{Э}$). В совокупности критериев $K_{Э}$ выделены 3 группы.

Первая группа критериев соотнесена с оценкой качества созданного студентом образовательного продукта: цифрового учебного модуля по физике для средней школы, включающего компьютерную симуляцию вида УКСЛЭ и/или УВЛЭ (критерии $K_{Э1} - K_{Э4}$):

$K_{Э1}$ – соответствие учебной компьютерной модели ее заявленной фасетной формуле (критерий, характеризующий уровень осознанности студентом обозначенных и достигнутых им целей разработки КС);

$K_{Э2}$ – научно-методический уровень разработки содержания учебной компьютерной симуляции и цифровых дидактических материалов для ее сопровождения;

К₃₃ – качество пользовательского интерфейса учебной модели, его соответствие основными правилами юзабилити;

К₃₄ – качество веб-версии созданного студентом цифрового учебного модуля (ее содержания и интерфейса).

Вторая группа критериев соотнесена с уровнем профессиональных методологических знаний студентов и готовности к их применению при проектировании учебных занятий по физике с использованием разработанного цифрового ресурса (критерии **К₃₅** – **К₃₇**):

К₃₅ – уровень освоения системы методологического знания;

К₃₆ – качество проекта учебного занятия с применением разработанного цифрового модуля; **К₃₇** – формы и качество результатов апробации проекта.

К третьей группе относятся критерии, характеризующие уровень самостоятельности продуктивной деятельности студента в создании образовательного продукта (критерии **К₃₈** и **К₃₉**):

К₃₈ – самостоятельность в разработке концептуальной части проекта (т.е. в выполнении концептуальных продуктивных актов: *заданий К6–К13*);

К₃₉ – самостоятельность в освоении и применении технологий разработки компьютерной симуляции УФЭ и цифровых дидактических материалов сопровождения (т.е. в выполнении процессуальных продуктивных актов: *заданий П1–П7*).

В *приложении 3* (3.1, табл. 21, с. 454–459) приведены показатели, соответствующие каждому из критериев, указана диагностическая шкала оценки результатов продуктивной проектной деятельности студента.

Диагностика уровня ПМК студентов осуществлялась средствами тестирования и экспертной оценки. Экспертиза проектов выполнялась сотрудниками Лаборатории ЦОР и педагогического проектирования ПГГПУ. Были сформированы экспертные группы по направлениям: 1) научно-методический уровень содержания цифрового модуля; 2) технологический уровень разработки цифрового модуля; 3) качество дизайна и юзабилити пользовательского

интерфейса учебной компьютерной симуляции. В состав каждой группы экспертов входил ведущий преподаватель, организующий продуктивное обучение.

Особое внимание при проведении диагностики уделялось оценке уровня самостоятельности студентов в проектировании и создании цифрового учебного модуля. По результатам выполнения каждого продуктивного акта (концептуального, процессуального) фиксировались объем и содержание востребованной студентом внешней поддержки его деятельности (со стороны преподавателя, сотрудников Лаборатории, однокурсников) в достижении поставленной им цели. Градация уровня самостоятельности осуществлялась по следующим показателям: 1) результат работы получен студентом в основном самостоятельно, использовался только консультационный режим обучающего сопровождения (*повышенный уровень*); 2) задание выполнялось при наличии консультаций и эпизодическом обучающем содействии со стороны преподавателя, сотрудников Лаборатории, однокурсников (*достаточный уровень*); 3) достижение цели осуществлялось на основе постоянных консультаций и в условиях систематического обучающего содействия (*начальный уровень*).

Для оценки степени завершенности проекта, которая также является показателем уровня самостоятельности (но уже не только исполнительской, а как качества личности разработчика, характеризующей его ответственность за полученный результат), была создана экспертная фокус-группа пользователей, которые выполняли независимую оценку ресурса как потребители образовательных услуг (учителя физики средней школы). Экспертами этой группы формулировалось заключение по каждому разработанному образовательному продукту: 1) рекомендуется к апробации в учебном процессе, 2) рекомендуется к апробации при устранении отдельных недочетов, 3) требуется доработка в соответствии с указанными замечаниями.

На основе данных поэлементной оценки ПМК для каждого студента определялся суммарный балл, характеризующий уровень сформированности данной компетенции. От интервальной шкалы (сумм набранных студентами баллов N за выраженность проявления диагностируемых качеств) был выполнен

переход к градации испытуемых по уровню сформированности ПМК: *начальному* ($50 \% \leq N < 60\%$ от максимально возможной суммы баллов), *достаточно* ($60 \leq N < 80 \%$), *повышенному* ($N \geq 80 \%$).

Оценка уровня ПМК проводилась для трех групп студентов 5 курса, участвовавших в ОПР: *группа 1* – 32 студента (профили «Физика» и «Информатика», период обучения 17–19 уч. гг.); *группа 2* – 31 студент (профиль Физика» и «Информатика», период обучения 19–21 уч. гг.); *группа 3* – 36 студентов (профиль «Информационные технологии в образовании», период обучения 19–21 уч. гг.). Возможность включения в состав выборок испытуемых *группы 3* обоснована тем, что студенты данного профиля обучения согласно учебному плану осваивали в ходе двух лет обучения дисциплину «Основы физики», а также ряд дисциплин психолого-педагогического цикла, в том числе касающихся применения средств ИКТ в обучении физике. В опытно-поисковой работе ставилась задача продемонстрировать для трех групп испытуемых устойчивость (воспроизводимость) результатов обучения, достигнутых на основе разработанной в исследовании методической системы формирования ПМК.

3.2. Оценка результативности опытно-поисковой работы

Первые результаты опытно-поисковой работы были получены на ее *констатирующем этапе*. На данном этапе диагностика качества методологической подготовки студентов проводилась только на основе критериев $K_{Э5}$ и $K_{Э6}$ (*прил. 3 (3.1), табл. 21, с. 458*). Ставилась задача оценить уровень освоения *методологических знаний* студентов выпускных курсов в области разработки и применения в обучении физике в средней школе КС физических процессов, а также уровень *умений* в проектировании учебных занятий по физике с их применением. Оценка осуществлялась по результатам изучения студентами дисциплины «Компьютерное моделирование» (6 семестр). Данная дисциплина традиционно читается преподавателями кафедры теоретической физики вуза. В программу дисциплины входит учебный модуль «Компьютерное моделирование физических процессов» (22 часа). Программа модуля и методика его

реализации в учебном процессе опубликованы в работах [34, с. 206–214; 35, с. 206–215]. Согласно программе обучения студенты в ходе лабораторных занятий приобретали опыт проведения численных экспериментов на компьютерных моделях физических явлений, построенных под руководством преподавателя, и выполняли задание по созданию авторской модели физического явления (на материале школьного курса физики). По окончании изучения дисциплины выполнялась диагностика методологических знаний студентов. Оценка умений применять полученные знания в профессиональной деятельности проводилась по завершению курса методики обучения физике (общие вопросы) и осуществлялась на основе выполнения испытуемыми задания по подготовке проекта учебного занятия с применением самостоятельно разработанных в курсе «Компьютерное моделирование» компьютерных моделей. По содержанию созданных проектов учебных занятий со студентами проводилось собеседование. Тестовый контроль уровня методологических знаний, анализ содержания проектов учебных занятий и результатов собеседований составили основу для оценки уровня методологической подготовки студентов к созданию и применению в обучении физике в средней школе компьютерных симуляций. Результаты диагностики представлены в *таблице 11*.

Таблица 11

Результаты диагностики уровня методологических знаний и умений студентов в области проектирования и применения в учебном процессе по физике в средней школе компьютерных симуляций

Уровни	Группа 1 (32 студента)	Группа 2 (31 студент)
Начальный ($50 \leq N < 60\%$)	40,6 %	38,7 %
Достаточный ($60 \leq N < 80\%$)	59,4 %	54,8 %
Повышенный ($N \geq 80\%$)	-	6,5 %

Несмотря в целом на удовлетворительные итоги данной диагностики анализ результатов собеседований по содержанию проектов учебных занятий свидетельствует о наличии ряда существенных недостатков в уровне методологической подготовки студентов в рассматриваемой области педагогической

практики. К ним относятся: 1) размытость представлений о структуре научного знания, места и роли компьютерного эксперимента в системе научного поиска; 2) неуверенные знания структуры компьютерного и физического экспериментов как методов познания; 3) ошибки в пояснениях содержания отдельных этапов реализации данных методов; 4) неумение адекватно сформулировать цели учебного занятия, включающего применение компьютерных моделей физических процессов; 5) узость в понимании места компьютерного эксперимента в структуре учебного занятия, ориентация на использование КС преимущественно с целью иллюстрации учебного материала или постановки заданий контролирующего типа; недостаточное внимание к рассмотрению методологического познавательного потенциалов КС; 6) пренебрежение этапом проверки результатов компьютерного моделирования в физическом эксперименте; 7) невнимание к организации самостоятельной работы учащихся с компьютерными симуляциями и формированию у них соответствующих умений; 8) отсутствие в проектах учебных занятий дидактических материалов для самостоятельной работы учащихся с компьютерными симуляциями.

Рассмотрим результаты поискового и формирующего этапов ОПР. По завершению этих этапов сравнивались результаты обучения трех групп студентов: будущих учителей физики и информатики (*группы 1 и 2*) и будущих инженеров в области информационных систем и технологий в образовании (*группа 3*). В ходе исследования проводились как *поэлементная*, так и *комплексная* диагностика методологической подготовки студентов.

Доказательство влияния разработанной системы обучения на уровень методологической подготовки студентов осуществлялось на основе *поэлементной диагностики* ПМК. Оценивался в частности уровень *методологических знаний* студентов и сформированности *умений* в проектировании на их основе учебного процесса по физике с применением КС (критерии КЭ5 и КЭ6) (*прил. 3 (3.1)*, с.458). Для краткости обозначим суммарное значение этих характеристик как *уровень методологических знаний и умений* студентов в рассматриваемой области педагогической практики.

Комплексная диагностика связана с оценкой уровня сформированности профессиональной методологической компетенции в области создания и применения в обучении физике в средней школе компьютерных симуляций.

Статистическая обработка результатов педагогического исследования осуществлялась на основе t-критерия Стьюдента. Основанием для применения данного метода являются использование при проведении измерений *шкалы интервалов* и соответствие распределения исследуемого признака субъектов выборки *нормальному закону*. Проверка на нормальность распределения исследуемых признаков в группах 1, 2 и 3 осуществлялась с применением критерия Шапиро-Уилка [69, с. 238–241]. В *приложении. 3* (3.2, табл. 22, с. 460) приведены данные теста Шапиро-Уилка, характеризующие нормальность исследуемых распределений признаков для каждой группы испытуемых, что соответствует принятию гипотезы H_0 : *исследуемый признак распределен по нормальному закону*. Еще одним из показателей нормальности распределения является примерное равенство среднего значения измеряемого признака, медианы и моды в исследуемой совокупности результатов измерений, что имело место для результатов измерений по каждой из групп испытуемых.

В ходе оценки достоверности результатов обучения с помощью t-критерия Стьюдента проверялись следующие гипотезы: H_0 : различия средних значений исследуемого признака в обеих выборках обусловлены только статистическим разбросом; в пределах этого разброса средние можно считать одинаковыми; H_1 : средние значения исследуемого признака в сопоставляемых выборках достоверно различаются [133, с. 107].

При диагностике *начального уровня* методологических знаний и умений студентов *групп 1 и 2* проверялась достоверность гипотезы H_0 (доказательство отсутствия существенных различий студенческих групп по данному признаку). Обработка результатов измерений показала, что *до обучения* выявленные различия в методологических знаниях и умениях студентов двух исследуемых выборок являются несущественными: $t_{эмп} = 0,5$ при $t_{кр} = 1,99$ при $p \leq 0,05$, $t_{эмп} < t_{кр}$. Следовательно, *принимается гипотеза – H_0* .

На рисунках 17 и 18 показано распределение студентов обеих групп по уровню успешности выполнения заданий методологического характера (*до и после обучения*). Очевидны разница достижений студентов каждой из групп, а также более высокий уровень достижений обеих групп после обучения.

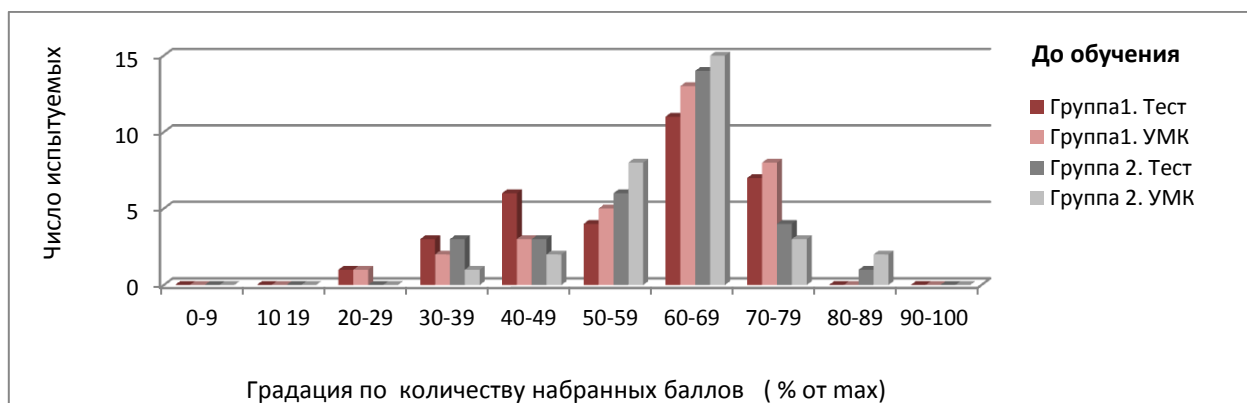


Рис. 17. Распределение студентов групп 1 и 2 по уровню методологических знаний и умений *до обучения*

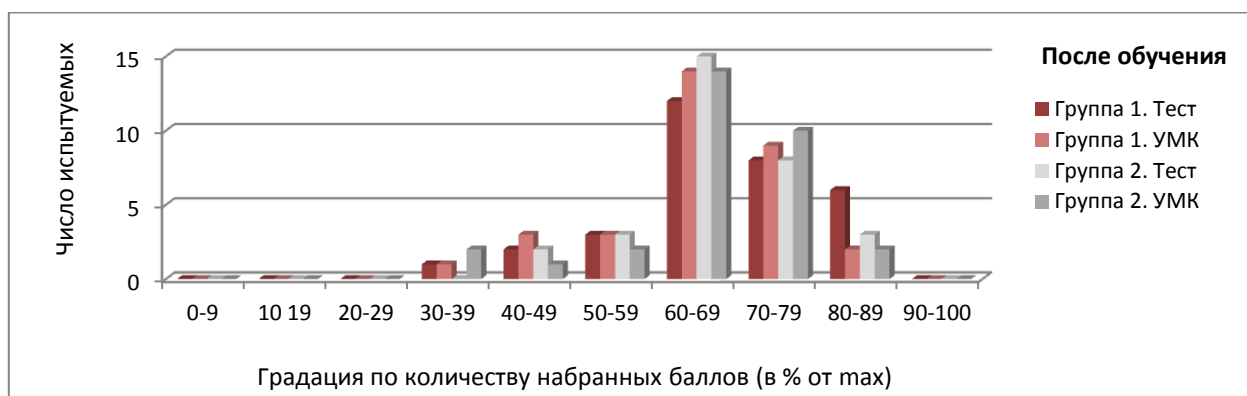


Рис. 18. Распределение студентов групп 1 и 2 по уровню методологических знаний и умений *после обучения*

Для каждой группы выполнена оценка достоверности различий в усвоении методологических знаний и умений до и после обучения с помощью *t*-критерия Стьюдента. Результаты по *группе 1*: $t_{эмп} = 19,8$ при $t_{кр} = 2,04$ при $p \leq 0,05$. Результаты по *группе 2*: $t_{эмп} = 11,7$ при $t_{кр} = 2,04$ при $p \leq 0,05$. Для обеих групп $t_{эмп} > t_{кр}$. Полученные значения $t_{эмп}$ находятся в зоне значимости. В этом случае *принимаемая гипотеза – H1*. Дифференциация студентов этих групп по уровням методологических знаний и умений (*начальному, достаточному, повышенному*) до и после обучения представлены на рисунке 19 и в *таблице 12*.

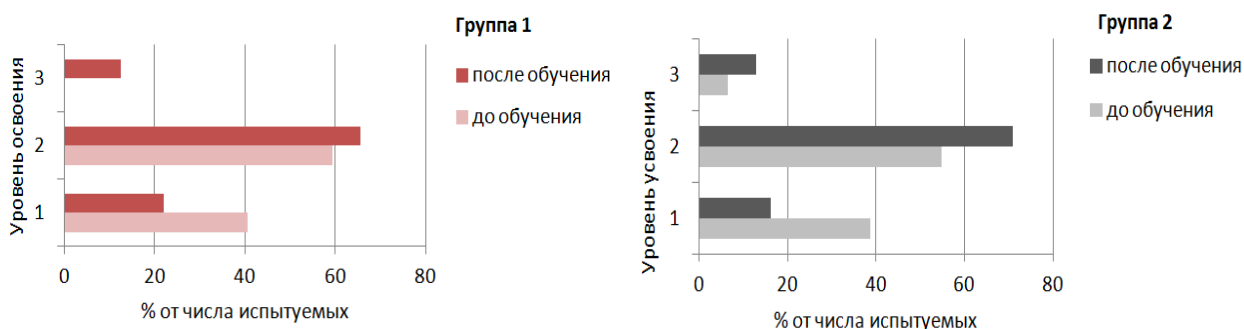


Рис. 19. Данные диагностики изменения уровня методологических знаний и умений студентов групп 1 и 2. Уровни: 1 – начальный, 2 – достаточный, 3 – повышенный

Таблица 12

Результаты итоговой диагностики уровня методологических знаний и умений студентов в области проектирования и применения компьютерных симуляций в учебном процессе по физике в средней школе

Уровень	Группа 1 (32 студента)		Группа 2 (31 студент)	
	до обучения	после обучения	до обучения	после обучения
Начальный ($50 \leq N < 60\%$)	40,6 %	21,9	38,7	16,1 %
Достаточный ($60 \leq N < 80\%$)	59,4 %	65,6	54,8	71,0 %
Повышенный ($N \geq 80\%$)	-	12,5	6,5	12,9 %

По итогам обучения на основе данных поэлементной диагностики определялся суммарный балл, характеризующий уровень сформированности ПМК у каждого студента. На рисунке 20 показана градация студентов групп 1, 2 и 3 по числу набранных баллов, характеризующих уровень их профессиональной методологической компетенции в области создания и применения компьютерных симуляций. В таблице 13 представлено распределение студентов этих групп по уровням сформированности ПМК (начальному, достаточному, повышенному) в области разработки и применения в учебном процессе по физике в средней школе компьютерных симуляций.

На основе данных итоговой диагностики была проведена оценка *воспроизводимости* результатов обучения в группах 1, 2 и 3 по уровню сформированной ПМК в рассматриваемой области педагогической практики. Данные статистической обработки количественных оценок уровня ПМК студентов с применением критерия Стьюдента следующие: для групп 1 и 2 $t_{эмп} = 0,1$ при

$t_{кр} = 2,14 (0,05)$; для групп 1 и 3 $t_{эмп} = 0,5$ при $t_{кр} = 2,14 (0,05)$; для групп 2 и 3 $t_{эмп} = 0,6$ при $t_{кр} = 2,14 (0,05)$. Доказана незначимость различий результатов обучения в указанных группах. Для всех случаев сравнения $t_{эмп} < t_{кр}$. *Принимаемая гипотеза – Н0.*

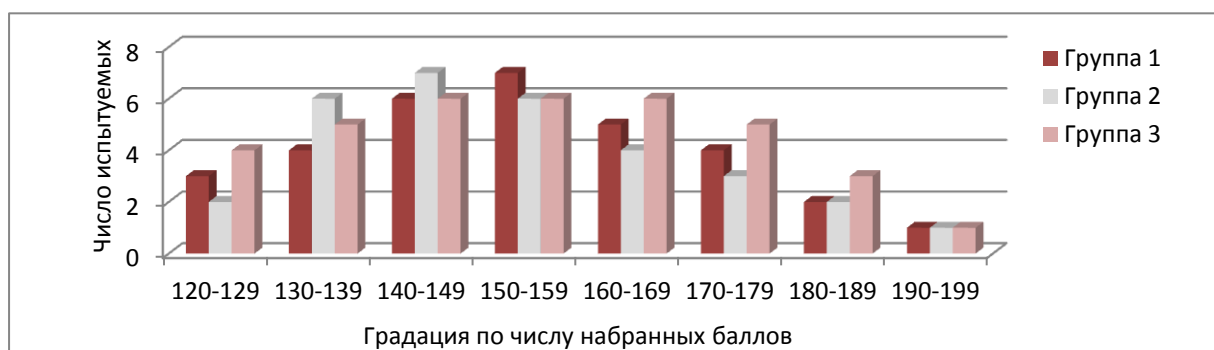


Рис. 20. Распределение студентов групп 1, 2 и 3 по количеству набранных баллов, характеризующих уровень ПМК

Таблица 13

Результаты диагностики уровня сформированности ПМК студентов 1, 2 и 3 групп в области разработки и применения в учебном процессе по физике в средней школе компьютерных симуляций

Уровни ПМК	Группа 1 % испытуемых	Группа 2 % испытуемых	Группа 3 % испытуемых
Начальный ($50 \leq N < 60\%$)	15,6	9,7	19,4
Достаточный ($60 \leq N < 80\%$)	65,6	74,2	61,2
Повышенный ($N \geq 80\%$)	18,8	16,1	19,4

Как видно, что группа 3 (профиль «Информационные технологии в образовании») показала результаты близкие по уровню сформированности ПМК к результатам двух других групп. Однако поэлементный анализ содержания достижений студентов этой группы (будущих инженеров) свидетельствует о том, что они, уступая бакалаврам педагогического образования в качестве решения методических задач проектирования цифрового модуля и разработки проектов учебных занятий, демонстрировали при этом в среднем более высокий уровень достижений в области цифровых технологий реализации проекта.

Значимым показателем продуктивной работы студентов являются реализованные формы и качество апробации результатов проектной деятельности.

Итоги этой работы представлены в *таблице 14*.

Таблица 14

№ пп	Формы апробации	% от общего числа студентов, участвовавших в ОПР
1	Подготовка аннотации и презентации проекта (выступление на научно-методическом семинаре в вузе).	100 %
2	Написание и публикация тезисов, статьи.	19, 2%
3	Организация учебного занятия в средней школе с применением цифрового модуля.	16,2 % (использовано учителями физики); 9,1% (использовано студентами)
4	Участие в профессиональных конкурсах.	2 %

Оценка разработанных студентами модулей была дана экспертной фокус-группой пользователей (потенциальных потребителей продукта). Заключение экспертов следующее: 1) рекомендуется к апробации в учебном процессе – 25,3 % проектов; 2) рекомендуется к апробации при устранении отдельных недочетов – 54,4% проектов; 3) требуется доработка в соответствии с указанными замечаниями – 20, 3% проектов. Выполнен расчет корреляции результатов внутренней диагностики качества разработанных студентами цифровых учебных модулей и результатов их внешней экспертизы. Значение коэффициента корреляции Пирсона составило $R = 0,75$.

Сопутствующими результатами экспериментального обучения студентов стали и другие образовательные эффекты технологии продуктивного обучения, зафиксированные в ходе ОПР на качественном уровне. Отмечены положительные изменения: *в уровне самооценки ПМК в области разработки компьютерных симуляций и проектирования практики их применения в учебном процессе по физике в средней школе; в готовности к профессиональному самоопределению, включая отношение к профессиональной специализации в области разработки цифровых образовательных ресурсов; в развитии эмоционально-ценностного компонента учебной деятельности, навыков межличностного общения и формировании опыта познавательного сотрудничества (в направлении от «атомарного коллективного субъекта» к «корпоративному коллективному субъекту» и «полисубъекту»)*. Примером может служить выдвижение идеи и создания группами студентов объединенных веб-ресурсов, включающих несколько проектов (*прил. 2 (2.11), рис. 94, 95, с. 427–428*).

Результаты опытно-поисковой работы свидетельствуют о справедливости выдвинутой гипотезы исследования. Подтверждена результативность разработанной в настоящем исследовании методической системы методологической подготовки студентов к созданию и применению компьютерных симуляций в обучении физике в средней школе. Выявлен рост уровня методологической подготовки студентов в области самостоятельного проектирования педагогической практики, связанной с включением в учебный процесс по физике в средней школе компьютерных симуляций как метода познания в его взаимосвязи с физическим экспериментом и как средства обучения.

Выводы к главе 3

1. Раскрыто содержание целей, задач и этапов опытно-поисковой работы по проверке результативности методической системы методологической подготовки студентов к созданию и применению в учебном процессе по физике в средней школе компьютерных симуляций.

2. Разработана методика диагностики уровня профессиональной методологической компетенции будущих учителей физики в области проектирования педагогической практики, связанной с созданием и применением в обучении физике в средней школе компьютерных симуляций УФЭ.

3. Дана оценка актуального уровня методологической подготовки выпускников физического факультета к самостоятельному проектированию педагогической практики в рассматриваемой области профессиональной деятельности.

4. На ходе ОПР проведены первичная и итоговая проверки влияния разработанной методической системы обучения и технологии ее реализации на уровень профессиональной методологической компетенции студентов в рассматриваемой области профессиональной деятельности. Доказана результативность предложенной системы методологической подготовки будущих учителей к созданию и применению в учебном процессе по физике компьютерных симуляций как инструмента познания и средства обучения. Подтверждена справедливость выдвинутой гипотезы исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования получены объективно новые результаты и сформулированы выводы, определяющие направления модернизации профессиональной подготовки будущих учителей физики.

1. Анализ теории и практики подготовки будущих учителей к применению компьютерных симуляций в обучении физике в средней школе свидетельствует о недостаточном внимании к ее методологическим аспектам: рассмотрению функций компьютерного моделирования как метода познания и средства обучения и выявлению общих подходов к проектированию учебного процесса по предмету с учетом реализации этих функций. Обоснована необходимость освоения будущими учителями методологического инструментария проектирования практики применения КС в обучении физике, представленного комплексом *обобщенных ориентиров* этого вида профессиональной деятельности (структурно-системных, структурно-содержательных и структурно-процессуальных) как условия, обеспечивающего ее самостоятельность, результативность и творческий потенциал.

2. Определены компоненты содержания методологической подготовки студентов в данной области профессиональной деятельности: модель освоения учащимися компьютерного моделирования при изучении курса физики средней школы; структура КС как метода учебного познания и структура компьютерного эксперимента как его составляющая; система методологических и дидактических функций компьютерных симуляций; классификация КС физических процессов, включая классификацию КС учебного физического эксперимента; принципы и требования к проектированию учебных КС, в том числе КС физического эксперимента; комплекс общих регулятивов проектной деятельности (структура педагогического знания, логика выбора методологического подхода к разработке проекта, этапы проектирования педагогической практики).

3. Теоретико-методологическую основу моделирования методической системы методологической подготовки будущих учителей физики к применению компьютерных симуляций в обучении образуют *концепция продуктивного обучения, основы методологии педагогической практики, дидактические основы междисциплинарных связей* как условие реализации принципов научности и системности в организации учебного процесса.

4. Разработана методическая система методологической подготовки будущих учителей в области проектирования практики применения КС в обучении физике в средней школе. Специфика и взаимосвязи элементов этой системы (*целей, содержания, методов, средств и форм обучения*) определяются факторами, обеспечивающими ее целостность и отличительные особенности. К ним относятся: а) *организация самостоятельной продуктивной деятельности* студентов по проектированию практики применения КС в обучении физике, б) *сопровождение проектной деятельности комплексом методологических регулятивов* как обобщенных ориентиров поиска и реализации проектных решений, в) *обучение будущих учителей физики проектированию данного вида учебной практики в рамках дисциплин методического цикла с опорой на связи (содержательные, операционные) с дисциплинами их фундаментальной предметной подготовки.*

Разработано содержание базовых компонентов технологии продуктивного обучения студентов проектированию учебного процесса по физике с применением КС. Определены содержание и структура объекта проектирования, востребованного в образовательной практике, – *цифрового учебного модуля*, включающего КС физического эксперимента, систему дидактических материалов сопровождения и проект учебного занятия с применением КС. Содержание программы методической дисциплины, в рамках которой реализуется продуктивное обучение, интегрировано в исполняемые проекты и представлено системой поэтапно выполняемых продуктивных актов (*концептуальных, процессуальных*). Разработан комплекс методологических регулятивов как объект освоения и средство сопровождения проектной работы студентов. Это регулятивы,

отражающие: а) структуру методов учебного познания (физического эксперимента, компьютерного моделирования физических процессов); б) обобщенные характеристики компьютерных симуляций, принципы и требования к их проектированию; в) методологические ориентиры предметной дидактики, связанные с применением КС в обучении физике; г) структуру современного научно-педагогического знания как основы поиска и обоснования проектных решений.

5. Оценка результативности предложенной методической системы методологической подготовки связана с определением уровня профессиональной методологической компетенции студентов в проектировании практики применения КС в учебном процессе по физике. Определен комплекс критериев диагностики уровня сформированности этой компетенции. В опытно-поисковой работе на основе разработанной методики диагностики доказана результативность методической системы методологической подготовки будущих учителей к проектированию учебного процесса по физике с применением компьютерных симуляций.

Предложенный подход к обучению будущих учителей физики способствует активизации их профессионального самообразования и самоорганизации инновационной деятельности в области проектирования практики применения КС в обучении физике. Выявление закономерностей организации этой деятельности может составить предмет дальнейшего исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авербух, В. Л. Семиотика и основания теории компьютерной визуализации / В. Л. Авербух // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства. – 2013. – №1(5). – С.26–41.
2. Авербух, В. Л. Развитие человеко-компьютерного взаимодействия / В.Л. Авербух // Научная визуализация. – 2020. – Т.12. – № 5 – С. 130–164.
3. Алмазова, Н. И. Принципы реализации продуктивного подхода в профессиональном иноязычном образовании (психолого-дидактические аспекты) / Н. И. Алмазова и др. // Terra Linguistica. – 2011. – №136. – С. 136–140.
4. Антонова, Д. А. Принципы проектирования интерактивных учебных моделей физического эксперимента с применением технологии максимально реалистичного интерфейса / Д. А.Антонова // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ, 2017. – Вып.13. – С. 64 –74.
5. Антонова, Д. А. Типовые профессиональные задачи как основа организации проектной работы студентов в условиях применения технологии продуктивного обучения / Д. А. Антонова // // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ, 2020. – Вып.16. – С. 5–29.
6. Антонова, Д. А. Подготовка будущих учителей физики к разработке авторских коллекций дидактических материалов по предмету в условиях применения средств ИКТ / Д .А. Антонова // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ, 2011. – Вып.7. – С. 53–69.
7. Антонова, Д. А. Продуктивное обучение как технология развития самостоятельности будущих учителей в проектировании и разработке электронных дидактических материалов по физике / Д. А. Антонова, И. В. Ильин, Е. В. Оспенникова // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ, 2013. – Вып. 9. – С. 4–27.
8. Антонова, Д. А. Цифровая трансформация системы образования. Проектирование ресурсов для современной цифровой учебной среды как одно из ее основных направлений / Д. А. Антонова, Е. В. Оспенникова // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ, – 2018. – №14. – С. 5–37.

9. Антонова Д.А. Система дидактического обеспечения лабораторных занятий по физике в условиях применения средств ИКТ / Д. А. Антонова, Е. В.Оспенникова, Н. А.Оспенников // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ, 2012. – Вып. 8. – С. 40–53.

10. Антонова, Д. А. Методологические основы продуктивного обучения / Д. А. Антонова, Е. В. Оспенникова // Педагогическое образование в России. – 2020. – № 6. – С. 163–173.

11. Антонова, Д. А. Организация самостоятельной работы студентов педагогического вуза в условиях применения технологии продуктивного обучения / Д. А. Антонова, Е. В. Оспенникова // Педагогическое образование в России. – 2016. – № 10. С. – 43–52.

12. Антонова, Д. А. Компьютерные симуляции учебного физического эксперимента: методологический и дидактический аспекты применения в обучении / Д. А.Антонова, Е. В.Оспенникова. // Педагогическое образование в России. – 2021. – № 6. – С. 13–23.

13. Антонова, Д. А. Цифровые учебные модули по истории фундаментального физического эксперимента / Д. А. Антонова, Е. В.Оспенникова, Т. А. Яковкина // Актуальные вопросы современной науки и образования: сб. статей XIII междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2021. – 240 с. – с. 158–161.

14. Антонова. Д. А. Составляющие процесса цифровизации предметного знания: разработка цифровых ресурсов по истории физики среде / Д. А. Антонова, Е. В. Оспенникова // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ, 2021. – Вып.17. – С. 5–22.

15. Антонова, Д. А. Методическая система продуктивного обучения будущих учителей разработке и применению компьютерных симуляций учебного физического эксперимента / Д. А. Антонова //Учебный эксперимент в образовании, 2023. – № 4. – С. 43–57.

16. Антонова, Д. А. Продуктивное обучение: от альтернативной технологии к педагогической концепции и вариативной практике ее реализации

/ Е. В. Оспенникова, Д. А. Антонова // Педагогическое образование в России. – 2023. – № 6. – С. 17–28.

17. Аюпов, В. В. Математическое моделирование технических систем: учебное пособие / В. В. Аюпов – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2017. – 242 с.

18. Бабина, О. И. Сравнительный анализ имитационных и аналитических моделей / О. И. Бабина // Имитационное моделирование. Теория и практика: сб. докл. IV всерос. науч.-практ. конф. – СПб, 2009. – С. 73–77.

19. Башмаков, М. И. Педагогические мастерские в продуктивном обучении (теоретический аспект) / М. И. Башмаков, М. А. Горяев, Л. И. Лебедева // Региональное образование XXI века: проблемы и перспективы. – 2012. – №5 – С.201–211.

20. Баяндин, Д. В. Интерактивные компьютерные модели при изучении гидростатики и гидродинамики в средней школе / Д. В. Баяндин, А. Е. Финский // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ, 2019. – Вып.15. – С. 97–110.

21. Баяндин, Д. В. Моделирующие системы как средство развития информационно-образовательной среды (на примере предметной области "Физика"). – Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2007. – 329 с.

22. Баяндин, Д. В. Компьютерный модельный эксперимент при изложении молекулярно-кинетической теории газов в средней школе / Д. В. Баяндин, Н. Н. Медведева, Н. К. Ханнанов // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ. – 2015 – № 11 – С. 32–51.

23. Баяндин, Д. В. Динамические интерактивные модели для поддержки познавательной деятельности учащихся / Д. В. Баяндин // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ. – 2009. – № 5. – С. 30–44.

24. Баяндин, Д. В. Структура процесса познания в физике и классификация учебных интерактивных компьютерных моделей / Д. В. Баяндин // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ. – 2006 – № 2 – С. 35-46.

25. Баяндин, Д. В. Начала компьютерного моделирования в инструментальной системе STRATUM 2000 / Д. В. Баяндин // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ. – 2015. – № 11. – С. 14–32.

26. Баяндин, Д. В. Дидактические аспекты применения интерактивных компьютерных технологий в лабораторном практикуме / Д. В. Баяндин // Образовательные технологии и общество. – 2015. – Т. 18. – № 3. – С. 511–533.

27. Баяндин, Д. В. Электронное обучение в объектно-ориентированной моделирующей системе "Stratum Computer" / Д. В. Баяндин, А. В. Кубышкин, О. И. Мухин, А. А. Рябуха // Труды Междунар. научн. семинара «Искусственный интеллект в образовании». – Казань, 1996. – Ч. 1. – С. 33–36.

28. Баяндин, Д. В. Модельный практикум и интерактивный задачник по физике на основе системы STRATUM2000 / Д. В. Баяндин, О. И. Мухин // Компьютерные учебные программы и инновации. – 2002. – № 3. – С. 28–37.

29. Белоусов, А. А. Компьютерное моделирование в примерах и задачах. Динамика: учеб. пособие. / А. А. Белоусов, А. С. Кондратьев, А. И. Ходанович – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, СПИКиТ, 1997. – 123 с.

30. Белянин, В. А. Методическая система формирования исследовательской компетенции будущего учителя при изучении физики: дис. ... докт. пед. наук: 13.00.02 / Белянин Валерий Александрович. – М., 2012. – 483 с.

31. Бем, И. Продуктивное обучение: слагаемые системы / И. Бем, Й. Шнайдер // Совместный выпуск журналов «Школьные технологии». – 1999. – №4; «Новые ценности образования». – 1999. – № 9. – С.59–70.

32. Бережнова, Е. В. Формирование методологической культуры учителя / Е. В. Бережнова // Педагогика. – 2001. – № 4. –

33. Беспалько, В. П. Педагогика и прогрессивные технологии обучения / В. П. Беспалько. – М.: Педагогика, 1989. – 192 с.

34. Бирих, Р. В. Учебный модуль «Компьютерное моделирование физических процессов» // Цифровые образовательные ресурсы в школе: методика использования. Естествознание: сб. учеб.-метод. матер. пед. вузов / сост. Н. П. Безрукова, А. С.Звягина, Е. В.Оспенникова: под общ. ред. Е. В. Оспенниковой. М.: Университетская книга, 2008. – 480 с.

35. Бирих, Р. В. О компьютерных моделях в школьном курсе физики / Р. В. Бирих // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ. – 2006 –№ 2 – С. 27–33.

36. Боголюбов, А. Н. Основы математического моделирования / А. Н. Боголюбов – Режим доступа: http://math.phys.msu.ru/archive/2018_2019/27/ОММ1.pdf (дата обращения: 24.02.23).

37. Бордовский, Г. А. Персональный компьютер на занятиях по физике: учеб. пособие / Г. А. Бордовский, И. Б. Горбунова, А. С. Кондратьев; Рос. гос. пед. ун-т им. А.И. Герцена. – СПб.: РГПУ, 1999. – 116 с.

38. Бургин, М. С. Понятия и функции методологии. (К итогам дискуссии) / М. С. Бургин // Советская педагогика. – 1990. – № 10. – С.74 – 77.

39. Бурсиан, Э. В. 100 задач по физике для компьютера. – М.: Просвещение, 1997. – 256 с.

40. Бутиков, Е. И. Лаборатория компьютерного моделирования / Е. И. Бутиков // Компьютерные инструменты в образовании. – СПб: Информатизация образования. – 1999. – С. 26–31.

41. Васильева, Е. Н. Интерактивное обучение как модель продуктивного учебного процесса в условиях введения ФГОС / Е. Н. Васильева // Актуальные проблемы качества математической подготовки школьников и студентов: методологический, теоретический и технологический аспекты: матер. IV всерос. науч.-метод. конф. – КГПУ им. В.П. Астафьева: Красноярск, 2016. – С. 70–75.

42. Величков, В. А. Углубленное изучение основ радиоэлектроники в средней общеобразовательной школе на базе элективных курсов с использованием ИКТ / В. А. Величков // Вестник ПГГПУ. Серия: ИКТ в образовании. – Пермь: ПГГПУ 2005. – №1. – С. 172–185.

43. Виртуальная физика (ePhysics). Активная обучающая среда «Виртуальная школа» для среднего и высшего образования / Д. В. Баяндин, О. И. Мухин и др. Пермь: РЦИ ПГТУ, 1998–2005. – Режим доступа: <http://www.stratum.ac.ru/education/products/vschool/page2.html> (дата обращения 06.11.22).

44. Виртуальные лаборатории для общего, профессионального и дополнительного образования (физика, химия, технология). Российская компания Vizex. – Режим доступа: <https://vr-labs.ru/about/> (дата обращения: 18.03.23).

45. Виртуальный лабораторный комплекс "Физика средней школы" (ООО НПП «Учтех-Профи»). – Режим доступа: <https://stendlab.ru/vlk-assh> (дата обращения 16.12. 22).

46. Гавронская, Ю. Ю. Виртуальные лабораторные работы в интерактивном обучении физической химии / Ю. Ю. Гавронская, В. В. Алексеев // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. – 2014. – Выпуск 168. – С. 79–84.

47. Горностаева, Т. Н. Математическое и компьютерное моделирование: учеб. пособие / Т. Н. Горностаева, О. М. Горностаев – М.: Мир науки, 2019. – Сетевое издание. Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/50MNN PU19.pdf> (дата обращения: 22.09.2022).

48. Громько, Ю. В. Проектное сознание. Руководство по программированию и проектированию в образовании для систем стратегического управления / Ю. В. Громько. – М.: Институт учебника Paideia. – 1997. – 560 с.

49. Губанова, Е. В. Продуктивный подход в обучении школьников решению нестандартных задач: дис. ...канд. пед. наук: 13.00.01 / Губанова Елена Владимировна – Саратов, 2004. – 214 с.

50. Губский, Е. Г. Виртуальные лабораторные работы по физике в системе дистанционного обучения / Е. Г. Губский // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 1. – С. 55.

51. Гулд, Х. Компьютерное моделирование в физике / Х. Гулд, Я. Тобочник. В 2-х частях. Часть 1. – М.: Мир, 1990. – 400 с.

52. Даммер, М. Д. Технология продуктивного обучения физике студентов технического вуза / М. Д. Даммер, Н. В., Зубова, О. Н.Бочкарева // Вестник Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета. – 2020. – № 5 (158). – С. 107–130.

53. Дмитриева, Л. В. Подходы к экспертизе философских оснований образовательных концепций / Л. В. Дмитриева. // Экспертиза инновационных процессов в образовании: Подходы к проблеме экспертизы в образовании. – Томск, 1999. – Кн. 1. – С. 101–105.

54. Долженко, Е. В. Математическое моделирование реальных процессов при решении физических задач: дисс ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Долженко, Елена Васильевна. – СПб., 2014. – 190 с.

55. Живая физика. (Interactive Physics) MSC. Working Knowledge. – М.: ИНТ, 2002 (CD).

56. Журавлев, В. И. Педагогика в системе наук о человеке / В. И. Журавлев. – М.: Педагогика, 1990. – 168 с.

57. Журкин, А. А. Использование технологий визуализации и полисенсорного представления обучающего материала в интеллектуальных обучающих системах / А. А. Журкин // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского гос. ун-та. – 2013. – №3 (27). – Том 1 – С. 6–28. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tehnologiy-vizualizatsii-i-polisensor-nogo-predstavleniya-obuchayuschego-materiala-v-intellektualnyh-obuchayuschih> (дата обращения: 30.04.2023).

58. Заковряшина, О. В. Интеграция виртуального и натурального школьного физического эксперимента в процессе обучения физике: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Заковряшина Ольга Владимировна. – Новосибирск, 2014. – 163 с.

59. Звонарев, С. В. Основы математического моделирования: учеб. пособие / С. В. Звонарев. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 112 с.

60. Зенг, В. А. Оценка качества проектирования пользовательских интерфейсов нового поколения / В.А. Зенг // Известия ТулГУ. Технические науки, 2019. – №12. – С 404–410.

61. Ивочкина, Т. Н. Продуктивное обучение в открытой (сменной) общеобразовательной школе: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01 / Ивочкина Татьяна Николаевна. – Новокузнецк, 2004 – 231 с.

62. Игнатова, В. В. Стратегический подход в педагогике высшей школы в инновационном осмыслении / В.В. Игнатова // Вестник Академии знаний, 2012. – №1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategicheskiy-podhod-v-pedagogike-vysshey-shkoly-v-innovatsionnom-osmyslenii> (дата обращения: 14.02.2023).

63. Избранные труды А. А. Самарского; ред. А. В. Гулина, В. И. Дмитриева. – М.: МАКС Пресс – 531 с. – Режим доступа: <http://samarskii.ru/articles/1979/1979-002ocr.pdf> (дата обращения: 12.09.22).

64. Ильин, И. В. Обучение студентов педагогического вуза формированию у учащихся метатехнического знания в учебном процессе по физике: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Ильин Иван Вадимович. – Екатеринбург, 2013. – 421 с.

65. Ильин, В. А. История и методология физики: учебник для магистратуры / В. А. Ильин, В. В. Кудрявцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022. – 579 с.

66. Ким, В. С. Виртуальные эксперименты в обучении физике. Монография / В. С. Ким. – Уссурийск: Изд. Филиала ДВФУ, 2012. – 184 с.

67. Кириченко, Е. А. Формирование ключевых компетенций учащихся при выполнении модульных лабораторных работ по физике в средней общеобразовательной: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Кириченко Елена Александровна. – Армавир, 2011 – 308 с.

68. Князев, В. Н. Философия физики: главные смыслы и опыт преподавания / В. Н. Князев // Эпистемология и философия науки. – 2006. – Т. 10. – № 4. – С. 83–104.

69. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика / А. И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

70. Козел, С. М. Учебный курс «Физика на компьютере» в Московском физико-техническом институте / С. М. Козел, М. М. Соболева // Физическое образование в вузах. – 1996. – Т2. – №1. – С. 26–30.

71. Колесникова, И. А. Педагогическое проектирование: учеб. пособ. для высш. учеб. завед. / И. А. Колесникова, М. П. Горчакова-Сибирская: под ред. И.А. Колесниковой. – М.: Академия, 2005. – 288 с.

72. Кондратьев, А.С. Физика и компьютер / А. С. Кондратьев, В. В. Лаптев. – Л.: ЛГУ. 1989. – 328 с.

73. Кондратьев, А. С. Физика: задачи на компьютере: учебное пособие / А. С. Кондратьев, А. В. Ляпцев. – М.: Физматлит, 2008. – 398 с.

74. Кондратьев, А. С. Вычислительный эксперимент в рамках школьного курса физики / А. С. Кондратьев, А. А. Финагин // Компьютерные инструменты в образовании: – 2004. – № 1. – С 25–30.

75. Коршунова, Н. Л. Эволюция понятия методологии педагогики (преемственность традиций и новые перспективы) / Н.Л. Коршунова // Известия ВГПУ. Педагогические науки. – 2013. – Т. 260. – № 1. – С. 46–53.

76. Кошечева, Е. С. Развитие исследовательских умений учащихся на основе использования схемотехнического моделирования в процессе обучения физике: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Кошечева Елена Сергеевна. – Екатеринбург, 2003 – 219 с.

77. Кравченко, Н. С. Комплекс компьютерных моделирующих лабораторных работ по физике: принципы разработки и опыт применения в учебном процессе / Н. С. Кравченко, О. Г. Ревинская, В. А. Стародубцев // Физическое образование в ВУЗах. – 2006. – Т. 12. – № 2. – С. 85–95.

78. Краевский, В. В. Повышение квалификации – что это значит сегодня / В. В. Краевский. – Бийск, НИЦ БиГПИ, 1996. – 58 с.

79. Краевский В. В. Общие основы педагогики: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / В.В. Краевский. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 256 с.

80. Кубракова, Н. А. Принципы продуктивного обучения в организации самостоятельной работы студентов, изучающих английский язык / Н. А. Кубракова // Организация самостоятельной работы студентов по иностранным языкам. – Саратов: СНИГУ им. Н.Г. Чернышевского, 2019 – № 2 – С. 39–49.

81. Кузьменко, Г. Н. Философия и методология науки : учебник для магистратуры / Г. Н. Кузьменко, Г. П. Отюцкий. – М.: Изд-во Юрайт, 2021. – 450 с.

82. Ларионов, В. В. Композиционный демонстрационный физический эксперимент как средство повышения готовности студентов к изучению профильных дисциплин / В. В. Ларионов, Е. В. Лисичко, Е. И. Постникова // Учебный эксперимент в образовании. – 2010. – № 3. – С. 23–27.

83. Ларионов, В. В. Проблемно-ориентированная система обучения физике студентов в технических университетах: дис. ... докт. пед. наук: 13.00.02 / Ларионов Виталий Васильевич – Томск, 2008. – 361 с.

84. Липсон, Г. Великие эксперименты в физике / Г. Липсон; пер. с англ. И. Б. Виханского, В. А. Кузьмина: под. ред. В. И. Рыдника. – М.: Вузовская книга, 2011. – 196 с

85. Лисицин, С.Г. Компьютерное моделирование задач молекулярной физики: учеб. пособие / С. Г. Лисицин. – М.: Интеллект, 2019.

86. Ляпцев, А. В. Сочетание натурального и виртуального экспериментов при обучении физике в педагогическом ВУЗе / А. В. Ляпцев, А. С. Тюканов / Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании: матер. IV междунар. науч. конф. – Красноярск, 2020. – С. 226–230.

87. Майер, Р. В. Компьютерное моделирование: моделирование как метод научного познания. Компьютерные модели и их виды / Р.В. Майер // Научный электронный архив. – Режим доступа: <http://econf.rae.ru/article/6722> (дата обращения: 12.12.2019).

88. Макарова, О. Е. Использование компьютерных моделей при изучении раздела "молекулярная физика" в средней школе: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Макарова Ольга Евгеньевна. – М., – 2003. – 180 с.

89. Маликов, Р. Ф. Практикум по компьютерному моделированию физических явлений и объектов: учебное пособие. – Уфа: Изд-во БашГПУ, 2005. – 291 с.

90. Матвеев, Р. А. Система моделей электродинамики в курсе физики основной школы: в условиях информационного образовательного пространства: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Матвеев Роман Александрович. – М., 2008. – 167 с.

91. Методика преподавания физики в 8–10 классах средней школы: пособие для учителей физики: в 2-х ч. / В. П. Орехов [и др.]; ред.: В. П. Орехов, А. В. Усова. – М. : Просвещение, 1980.

92. Мультимедийная дидактика: учебно-методическое пособие / Е. С. Кощеева, Е. П. Матвеева, О. П. Мерзлякова, В. В. Храдко; УрГПУ. – Екатеринбург: [б. и.], 2021. – 115 с.

93. Мухина, Ю. Р. Вычислительный эксперимент на занятиях по физике как средство активизации учебно-познавательной деятельности студентов IT-направлений: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Мухина Юлия Рамильевна – Челябинск, 2012. – 27 с.

94. Насс, О. В. Теоретико-методические основания формирования компетентности преподавателей в области создания электронных образовательных ресурсов: на базе адаптивных инструментальных комплексов: дис. ... докт. пед. наук: 13.00.02 / Насс Оксана Викторовна. – М., 2013. – 374 с.

95. Неизвестный, С. И. Конвергентные технологии развития методологий управления проектами / С. И. Неизвестный. – М.; СПб.: Нестор-История, 2019. – 352 с.

96. Никитин, А. В. Компьютерное моделирование физических процессов / А. В. Никитин, А. И. Слободянюк, М. Л. Шишаков. – М.: Бином, Лаборатория знаний, 2011. – 679 с.

97. Новиков А. М. Методология образования / А. М. Новиков. – Издание второе. – М.: «Эгвес», 2006. – 488 с.

98. Новиков, А. М. Образовательный проект (методология образовательной деятельности) / А. М. Новиков, Д. А. Новиков– М.: «Эгвес», 2004. – 120 с.

99. Нуркаева, И. М. Методика организации самостоятельной работы учащихся с компьютерными программами на занятиях по физике: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Нуркаева Ирина Михайловна. – М., 1999. – 231 с.

100. Образовательный комплекс по физике «Увлекательная реальность» (АО Эволента). – Режим доступа: <https://funreality.ru/lp/physic/#block-tech> (дата обращения: 18.03.23).

101. Оспенников, Н.А. Методика обучения будущих учителей использованию образовательных компьютерных технологий на лабораторных занятиях по физике в средней школе: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Оспенников Никита Андреевич. – Челябинск, 2007. – 297 с.

102. Оспенникова, Е. В. Проблема разработки и применения в обучении визуальных методологических регулятивов исследовательской деятельности / Е. В. Оспенникова, А. Е. Финский // Педагогическое образование в России. – 2022. – № 6. – С. 13–23.

103. Оспенникова, Е. В. Развитие самостоятельности школьников в учении в условиях обновления информационной культуры общества: монография: в 2 ч. Ч. I. Моделирование информационно-образовательной среды учения / Е. В. Оспенникова. – ПГПУ: Пермь, 2003. – 294 с.

104. Оспенникова, Е. В. Использование ИКТ в преподавании физики в средней общеобразовательной школе: метод. пособие / Е. В. Оспенникова. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 655 с.

105. Оспенникова Е. В. Теория и методика обучения физике в средней школе. Избранные вопросы. Школьный физический эксперимент в условиях современной информационно-образовательной среды: учеб.-метод. пособие / Е. В. Оспенникова, А. А. Оспенников, Д. А. Антонова и др.: под общ. ред. Е. В. Оспенниковой. – Пермь: ПГПУ, 2013. – 368 с.

106. Оськина, О. В. Методика обучения основам компьютерного моделирования будущих учителей физики в педвузе: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Оськина Оксана Викторовна. – Самара, 2000. – 184 с.

107. Пахомова, Н. А. Вероятностное моделирование как фактор развития информационной культуры учащихся: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Пахомова Наталья Алексеевна. – Екатеринбург, 2001. – 167 с.

108. Подласый, И. П. Педагогика: учебник / И. П. Подласый. – М.: Высшее образование, 2006. – 540 с.

109. Поляков К. Ю. Информатика 10 класс, Углубленный уровень: учебник для 10 класса: в 2 ч. Ч. 2 / К. Ю. Поляков, Е. А. Еремин. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 304 с.

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

111. Попов, С. Е. Методическая система подготовки учителя в области вычислительной физики: Монография / С. Е. Попов. – Нижний Тагил: НТГСПА, 2005. – 237 с.

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

113. Постникова, Е. И. Демонстрационный физический эксперимент с применением цифровых технологий как средство повышения эффективности обучения физике студентов технического университета: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Постникова Екатерина Ивановна. – Томск, 2009. – 173 с.

114. Профессиональный стандарт «Педагог (педагогическая деятельность в сфере дошкольного, начального общего, основного общего, среднего общего образования) (воспитатель, учитель)». – Режим доступа: <https://mintrud.gov.ru/docs/mintrud/orders/129> (дата обращения: 14.04.23).

115. Пурышева, Н. С. Структура образовательной концепции в педагогических исследованиях / Н. С. Пурышева, Р. В. Гурина // Образование и наука. – 2006. – № 4 (40) – С. 12–20.

116. Ревинская, О. Г. Методика проектирования и проведения компьютерных лабораторных работ для изучения теоретических моделей явлений и процессов в курсе общей физики технического вуза: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Ревинская Ольга Геннадьевна – Томск, 2006 – 229 с.

117. Розин, В.М. Основные идеи и обоснование курса «Методологии проектирования» / В.М. Розин // Педагогика и просвещение. – 2019. – № 2. – С. 93–104.

118. Розова, Н. Б. Применение компьютерного моделирования в процессе обучения (На примере изучения молекулярной физики в средней общеобразовательной школе): дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01 / Розова Наталия Борисовна. – Вологда, 2002. – 163 с.

119. Румбешта, Е. А. Формирование проектно-исследовательской компетенции учащихся при обучении физике и оценка ее сформированности

/ Е. А. Румбешта, В. З. Мидуков // Вестник Томского гос. пед. ун-та. – 2007. – С.103–108.

120. Рыжиков, С. Б. Развитие исследовательских способностей одаренных школьников при обучении физике: дис. ... докт. пед. наук: 13.00.02 / Рыжиков Сергей Борисович. – М., 2014 – 470 с.

121. Саватеев, Д. А. Компьютерное моделирование в изучении физических основ электромагнитных явлений в курсах общей физики и специальных дисциплин технического вуза: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Саватеев Дмитрий Анатольевич. – СПб., 2007. – 158 с.

122. Самарский, А. А., Попов Ю. П. Вычислительный эксперимент в физике / А.А.Самарский, Ю.П. Попов // В кн.: Наука и человечество. – М.: Знание. 1975. С. 280–291.

123. Саранцев, Г. И. Методология предметных методик обучения / Г. И. Саранцев. – Порталус, 2007. Режим доступа: https://portalus.ru/modules/shkola/rus_readme.php?subaction=showfull&id=1191929488&archive=&start_from=&ucat=& (дата обращения: 22.08.23).

124. Сауров, Ю. А. Теория и методика обучения физике :учебное пособие для вузов / Ю. А. Сауров, М. П. Уварова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во Юрайт, 2023. – 290 с.

125. Селевко, Г. К. Энциклопедия образовательных технологий / Г. К. Селевко. В 2-х т. Т. 1. – М.: Народное образование, 2005. – 556 с.

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

127. Семакин, И. Г. Информатика и ИКТ. Базовый уровень: учебник для 10–11классов / И. Г. Семакин, Е. К. Хеннер – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 246 с.

128. Скворцов А. И. Видеозадачник: от наблюдения к измерению / А. И. Скворцов, А. И. Фишман // Физическое образование в ВУЗах, 2004. – Т. 10. – № 4. – С. 98–105.

129. Смирнов, С. А. Обучение студентов педагогических вузов созданию электронных образовательных ресурсов по физике: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Смирнов Сергей Александрович. – М., 2009. – 225 с.

130. Советов, Б. Я. Моделирование систем. Практикум: учебное пособие для бакалавров / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022. – 295 с.

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

132. Сорокина, Л. В. Необходимость количественной оценки удобства использования интерфейсов / Л. В. Сорокина // Молодой ученый, 2015. – № 12. – С. 39–42.

133. Стариченко, Б. Е. Обработка и представление данных педагогических исследований с помощью компьютера: учеб.-метод. пособие / Б. Е. Стариченко; Урал. гос. пед. ун-т. – Екатеринбург: [б. и.], 2004. – 218 с.

134. Стариченко, Б. Е. Профессиональный стандарт и ИКТ-компетенции педагога / Б. Е. Стариченко // Педагогическое образование в России. – 2015. – № 7 – С. 6–16.

135. Старовиков, М. И. Формирование учебной исследовательской деятельности школьников в условиях информатизации процесса обучения: на материале курса физики: дис. ... докт. пед. наук: 13.00.02 / Старовиков Михаил Иванович. – Бийск, 2007 – 398 с.

136. Старовиков, М. И. Обучение школьников экспериментальному методу в курсе физики с использованием компьютера: монография / М. И. Старовиков – Бийск: БПГУ им. В.М. Шукшина, 2006. – 264 с.

137. Стародубцев, В. А. Проектирование и реализация комплексов мультимедийных дидактических средств в педагогическом процессе вуза: дис. ... докт. пед. наук: 13.00.02 / Стародубцев Вячеслав Алексеевич. – Барнаул, 2004. – 376 с.

138. Стародубцев, В. А. Методологическая роль компьютерных практикумов / В. А. Стародубцев // Открытое и дистанционное образование. – 2003. – № 2 (10). – С. 34–40.

139. Татур, Ю. Г. Высшее образование: методология и опыт проектирования / Ю. Г. Татур. – М.: Логос, Университетская книга, 2006. – 256 с.

140. Теория и методика обучения физике в школе. Общие вопросы: Учебное пособие для студентов высш. пед. учеб. заведений / С. Е. Каменецкий, Н. С. Пурышева, Н. Е. Важевская и др.: под ред. С. Е. Каменецкого и Н. С. Пурышевой. – М.: Издательский центр “Академия”, 2000. – 368 с.

141. Теория и методика обучения физике в школе. Частные вопросы: учебное пособие для студентов высш. пед. учеб. заведений / С. Е. Каменецкий, Н. С. Пурышева, Н. Е. Важевская и др.: под ред. С. Е. Каменецкого и Н. С. Пурышевой. – М.: Издательский центр “Академия”, 2000. – 384с.

142. Терегулов, Д. Ф. Подготовка будущих учителей к использованию натурно-вычислительного эксперимента при обучении физике: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 /Терегулов Денис Федорович. – Екатеринбург, 2017. – 213 с.

143. Титова, Е. В. Педагогическая методология: анализ отечественных научных подходов / Е. В. Титова // Письма в Emissia offline. – Режим доступа: <http://www.emissia.org/offline/2001/824.htm> (дата обращения: 15.01.2017).

144. Тищенко, Л. В. Экспериментальный практикум по физике как средство обучения старшеклассников решению задач: углублённый уровень: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Тищенко Людмила Викторовна. – М., 2018. – 174 с.

145. Троицкий, Д. И. Виртуальные лабораторные работы в естественнонаучном образовании / Д. И. Троицкий, Е. Е. Дикова // Сб. науч. статей XVIII объедин. конф. «Интернет и современное общество» IMS2015. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – С. 121–129. – Режим доступа: <https://ojs.itmo.ru/index.php/IMS/article/view/443> (дата обращения: 10.12.2022).

146. Трубников, С. Цифровизация российской школы / С. Трубников, А. Трубников. – Режим доступа: <https://rossa.primavera.ru/article/336d883e?gazeta=/gazeta/281> (дата обращения: 17.11.2022).

147. Умарова, Л. Х. Использование комплекса упражнений по физике, основанных на компьютерном модельном эксперименте: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Умарова Липа Хусеновна. – М., 2005 – 161 с.

148. Усольцев, А. П. Понятие инновационного мышления / А. П. Усольцев, Т. Н. Шамало // Педагогическое образование в России. – 2014. – № 1. – С. 94–98.

149. Усольцев, А. П. Инновационная деятельность учителей – миф или реальность? / А. П. Усольцев, Е. П. Антипова // Образование и наука. – 2019. – Т. 21, № 5. – С. 9–41.

150. Учебный физический эксперимент. Современные технологии. 7–11 классы: методическое пособие / Г. Г. Никифоров, О. А. Поваляев, В. В. Майер – М.: Просвещение / Вентана-Граф, 2015. – 112 с.

151. Федеральный государственный образовательный стандарт Среднее общее образование. Приказ Минобрнауки России от 17.05.2012 N 413 (ред. от 12.08.2022) – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/351729442> (дата обращения: 15.09.2022).

152. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки). Утвержден приказом Министерства образования и науки РФ от 22 февраля 2018 г. № 125. – Режим доступа: https://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Bak/440305_B_3_15062021.pdf (дата обращения: 10.05.23).

153. Физика в школе. Научный метод познания и обучение»: методическое пособие / В. Г. Разумовский, В. В. Майер. – М.: Гуманитарный изд. центр Владос, 2007 – 464 с.

154. Финагин, А. А. Вычислительный эксперимент при информационном подходе к изучению физики в средней школе: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Финагин Андрей Алексеевич. – СПб., 2004. – 161 с.

155. Хамдамов, Т. В. Определение термина компьютерных симуляций научных экспериментов через анализ природы феномена / Т. В. Хамдамов //

Социальные и гуманитарные науки: теория и практика. – 2019. – №1 (3). – С. 167–183.

156. Хамдамов, Т. В. Компьютерный поворот в философии XXI в. (размышления над книгой Йоханнеса Ленхарда "Сюрпризы вычислений. Философия компьютерных симуляций") / Т. В. Хамдамов // Вопросы философии – 2021.– №5 – С. 36 – 46.

157. Хинич, И. И. Научно-методическое обеспечение целостного исследовательского обучения физике в подготовке педагогических кадров: дис. ... докт. пед. наук: 13.00.02 / Хинич Иосиф Исаакович. – СПб., 2011 – 345 с.

158. Ходанович, А. И. Концептуально-методические аспекты информатизации общего физического образования на современном этапе: дис. ... докт. пед. наук: 13.00.02 / Ходанович Александр Иванович – СПб., 2003. – 333 с.

159. Ходусов, А. Н. Методология проектирования и моделирования профессионального образования в условиях его модернизации / А. Н. Ходусов // Ученые записки. Электронный науч. журнал Курского гос. ун-та, 2018. – №4 (48). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-proektirovaniya-i-modelirovaniya-professionalnogo-obrazovaniya-v-usloviyah-ego-moder nizatsii> (дата обращения: 08.01.2023).

160. Храмович, М. А. Научный эксперимент, его место и роль в познании / М. А. Храмович. – Минск: Изд. БГУ, 1972. – 230 с.

161. Чамина, О. Г. Продуктивное обучение: потенциал развития в высшей школе / О.Г. Чамина // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5 – Режим доступа: <http://www.scienceeducation.ru/ru/article/view?id=22454> (дата обращения: 20.07.2018).

162. Чирцов, А. С. Методы и средства автоматизации разработки электронных образовательных ресурсов для вариативного изучения физики: автореф. дис. ... докт техн. наук / Чирцов Александр Сергеевич – СПб., 2014. – 40 с.

163. Чирцов, А. С. Пакет обучающих программ по теме «Движение заряженных частиц в силовых полях»: конструирование физических систем и моделирование процессов на компьютере / А. С. Чирцов // В сб. тр. междунар.

конф. «Физика в системе современного образования». – Петрозаводск, 1995. – С. 244.

164. Чупин, Д. Ю. Организационно-педагогические условия реализации продуктивного обучения в подготовке будущих учителей технологии и предпринимательства: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08 / Чупин Дмитрий Юрьевич. – Новокузнецк, 2007 – 24 с.

165. Шамало Т. Н. Теоретические основы использования физического эксперимента в развивающем обучении: учеб. пособ. по спецкурсу для студ. педвузов / Т. Н. Шамало – Свердловск: Свердловский гос. пед. ин-т, 1990. – 96 с.

166. Шаповалов, А. А. Педагогическое конструирование системы лабораторного физического эксперимента: учебное пособие / А. А. Шаповалов, С. В. Таныгин. – Барнаул: АлтГПА, 2011. – 165 с.

167. Шестакова, Е. С. Обучение студентов педагогического вуза реализации принципа историзма в учебном процессе по физике в условиях информатизации системы среднего образования: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Шестакова Елена Сергеевна. – Челябинск, 2010 – 389 с.

168. Щербаков, Р.Н. Методология и философия физики для учителя: пособ для учит. физики и препод. вузов / Р. Н. Щербаков, Н. В. Шаронова. – М.: Прометей, 2016. – 269 с.

169. Электронная информационно-образовательная среда по физике: метод. рекомен. для преподавателей / Д. В. Баяндин. – Пермь: Изд-во Перм. нац. иссл. политехн. ун-та, 2017. – 45 с.

170. Яновская, Н. Б. Концепция продуктивного обучения как основа развития личности посредством создания рефлексивно направленной образовательной среды / Н. Б. Яновская // Ярославский педагогический вестник. – 2013. – С.147–150.

171. Cynthia A. Mika. The effectiveness of project based learning in eighth grade social studies on academic achievement, attendance and discipline/ Cynthia A. Mika.: diss. ... Ed.D – Dallas., 2015. – 116 p.

172. Duran, J. M. Computer simulations in science and engineering: Concepts – Practices – Perspectives. Cham: Springer, 2018. 209 p. С. 16

173. Duran, J. M. What is a Simulation Model? *Minds & Machines* 30, 301–323 (2020). – URL: <https://doi.org/10.1007/s11023-020-09520-z> (дата обращения: 15.10.2021).

174. Evangelia van Barneveld. Innovative problem-oriented pedagogies in engineering education: conceptualizations and management of tensions/ Evangelia van Barneveld.: diss. ... PhD - West Lafayette., 2011. – 158 p.

175. Humphreys, P.W. (1990). Computer simulations. *PSA*, 2, 497–506. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11023-020-09520-z#ref-CR34> (дата обращения: 15.10.2021).

176. Koss P. Teachers' Perspectives of the Effects of Project-Based Learning on the Academic Performance, Socialization Skills, and Self-Concepts of Incarcerated Juveniles/ P. Koss.: diss. ... Ed.D – Irvine., 2015. – 149 p.

177. Ragsdale S. Project-based Learning as a Means for Meeting the Needs of 21st Century Students in Common Core States/ Scott Ragsdale.:diss. ... Ed.D – Saint Charles., 2014. – 113 p.

178. Shirley A. Bailey. Student and employer perceptions of work-based learning in rural community colleges in Mississippi/ Shirley A. Bailey: diss. ... PhD. – Mississippi., 2009. – 189p.

179. Wing K. Y. H. Motivating native Hawaiians by project – based learning: a narrative inquiry/ Wing K. Y. H.: diss. ... PhD – Arizona., 2016. – 199 p.

180. Peierls R. Model-Making in Physics. — *Contemp. Phys.*, January/February 1980, v. 21, pp. 3-17.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

К ГЛАВЕ 1

1.1. Подходы к построению обобщенной структуры компьютерного моделирования как метода исследования	207
1.2. Обобщенная структура компьютерного моделирования как метода исследования	210
1.3. Классификация учебных компьютерных симуляций по физике	228
1.4. История разработки компьютерных симуляций УФЭ отечественной практике ...	229
1.5. Учебный симулятор физического эксперимента «Опыт Джоуля» (УКСЛЭ)	234
1.6. Компьютерная симуляция физического эксперимента «Закон Джоуля-Ленца» (УВЛЭ)	250
1.7. О процедуре построения фасетных формул для компьютерных симуляций различных видов	274

1.1. ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ОБОБЩЕННОЙ СТРУКТУРЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КАК МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ

Структура компьютерного моделирования как метода исследования в интерпретации авторов ряда наиболее популярных учебных изданий для средней школы [96, 110, 126] представлена в *таблице 15*. Курсивом выделены те элементы структуры метода, которые являются общими для большинства авторов.

Таблица 15

Информатика. 11 класс Учебник (углуб. уровень) <i>К. Ю. Поляков, Е. А. Еремин</i> [110]	Информатика. 11 класс Учебник (углуб. уровень) <i>И. Г. Семакин, Е. К. Хеннер, Л. В. Шестакова</i> [126]	Компьютерное моделирование физических процессов Учеб. пособие. <i>А. В. Никитин, А. И. Слободянюк, М. Л. Шишаков</i> [96]
1	2	3
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>	2. Составления списка параметров модели, ранжирование.	2. <i>Построение математической модели на языке уравнений</i> и ее предварительный качественный анализ. 3. <i>Разработка алгоритма решения уравнений.</i>
	3. <i>Построение модели (математическая формализация).</i>	
	4. Реализация модели (способы – аналитические, численные).	

1	2	3
– исследования формальной модели; – построение компьютерной модели; – тестирование компьютерной модели.	5. Компьютерная реализация моделирования: – разработка алгоритма и составление программы для компьютера; – отладка программы.	4. Создание работающей компьютерной программы.
3. Эксперимент с моделью.	6. Проведение вычислительного эксперимента	5. Проведение вычислительного эксперимента.
4. Анализ результатов.	7. Анализ адекватности модели. Уточнение модели в случае несоответствия.	6. Получение и анализ результатов.

В каждой авторской версии построения структуры компьютерного моделирования в разных модификациях и полноте раскрывается их содержание. В частности, в учебнике К. Ю. Полякова, Е. А. Еремина наиболее полно представлена структура анализа результатов КЭ. В учебнике И. Г. Семакина, Е. К. Хеннера, Л. В. Шестаковой детализированы составляющие этапа компьютерной реализации модели. В учебном пособии А. В. Никитина и его соавторов обсуждаются особенности структуры почти всех этапов моделирования и приводятся достаточное число примеров их практической реализации.

Структуру компьютерного моделирования рассматривается в учебной литературе для высшей школы и в научно-методических публикациях. Позиции ряда авторов по этому вопросу представлены в *таблицах 16 и 17*.

Таблица 16

С. Е. Попов [111]	Р. В. Бирих [34]	Р. В. Майер [87]
1	2	3
1. Содержательная и концептуальная постановка задачи.	1. Анализ физической проблемы и постановки вопросов, на которые следует подучить ответ.	1. Постановка задачи, описание исследуемой системы и выявление ее компонентов и элементарных актов взаимодействия.
2. Построение базовой математической модели и прикладной математической модели (краевой задачи).	2. Для физических величин, обозначенных в обсуждении, написать управляющие уравнения, используя фундаментальные законы или знания о дифференциальных свойствах исследуемого процесса.	2. Формализация, то есть создание математической модели, представляющей собой систему уравнений и отражающей сущность исследуемого объекта.

1	2	3
3. Построение дискретного аналога прикладной модели.	3. Выбрать характерные масштабы для переменных и записать уравнения в безразмерном виде. Выбрать независимые критерии подобия задачи.	3. Разработка алгоритма, реализация которого позволит решить поставленную задачу.
4. Построение алгоритма решения краевой задачи.	3. Переформулировать математическую задачу на языке алгебры и выбрать метод ее решения.	4. Написание программы на конкретном языке программирования.
5. Разработка программы реализации алгоритма на ПК.	4. Составить алгоритм численного эксперимента.	5. Планирование и выполнение вычислений на ЭВМ, доработка программы и получение результатов.
6. Проведение вычислительного эксперимента.	5. Записать алгоритм на алгоритмическом языке и провести пробные вычисления для проверки работоспособности выбранного метода. При отрицательном результате проверки вернуться к п.4.	6. Анализ и интерпретация результатов, их сопоставление с эмпирическими данными.
6. Анализ и представление результатов	7. Провести численный эксперимент для широкого диапазона значений критериев подобия. Выделить те из них, при которых происходит смена режимов в исследуемых физических процессах	
6. Выводы и переход к исследованию следующей ступени в иерархии моделируемого объекта (уточнение модели).	7. Подвергнуть критическому анализу полученные результаты, сравнить их с известными натурными или лабораторными экспериментами. Рассмотреть возможные пути улучшения модели, если ее результаты в каком-либо смысле оказались неудовлетворительными, или упрощения модели, если численный эксперимент оказался трудоемким.	

Таблица 17

А. А. Финагин, А. С. Конратьев [154, 74]	Т. Н. Горностаева [47]	А. А. Самарский, Ю. П. Попов [63]
1	2	3
1. Идентификация проблемы и ее качественный анализ.	1. Постановка задачи: – определение цели моделирования – определение входных величин, от которых зависит строение или функционирование объекта или ход процесса, – определение выходных величин, значение которых нужно получить в результате моделирования.	1. Выбор физического приближения и математическая формулировка задачи (построение математической модели изучаемого явления или объекта).

1	2	3
2. Выдвижение гипотез и предположений, построение на их основе физической модели.	2. Ранжирование входных параметров.	2. Разработка вычислительного алгоритма решения задачи.
3. Разработка иерархической последовательности математических моделей.	3. Выдвижение гипотезы о строении, свойствах, поведении, функционировании изучаемой системы или явления.	3. Реализация алгоритма в виде программы для ЭВМ.
4. Математический анализ модели.	5. Построение математической модели.	4. Проведение расчетов на ЭВМ.
	6. Составления алгоритма для нахождения решения модели.	
5. Разрешение модели с помощью численных методов, создание алгоритмов и программ, проведение расчетов.	7. Составление программы.	5. Обработка, анализ и интерпретация результатов расчетов, сопоставление с физическим экспериментом, и в случае необходимости, уточнение или пересмотр математической модели, то есть возвращение к первому этапу и повторение цикла вычислительного эксперимента.
	8. Прогонка программы на компьютере (тестирование).	
6. Проверка и интерпретация решений.	9. Изучение модели: вычислительный (компьютерный) эксперимент.	
	10. Получение заключения по объекту оригиналу (по аналогии делаются выводы о строении, исследуемого объекта).	
6. Проверка достоверности модели.	11. Анализ результатов и получение выводов (о пригодности модели).	

Результаты анализа подходов авторов учебных пособий для высшей школы и научно-методических публикаций к определению основных этапов компьютерного моделирования тоже свидетельствуют об отсутствии единой позиции в решении данного вопроса. Отличается число этапов (от 5 до 10) и их содержание (подструктура целого ряда этапов представлена по-разному). Можно предположить, что причиной тому разный опыт исследователей в области компьютерного моделирования.

1.2. ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КАК МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу разработки регулятива положена известная триада «модель – алгоритм – программа» А. Н. Тихонова, А. А. Самарского, определяющая суть вычислительного эксперимента. На базе этой триады разными авторами предложены отличающиеся друг от друга обобщенные схемы компьютер-

ного моделирования (*табл. 15–17*). В настоящем исследовании разработан авторский вариант такой обобщенной схемы, предназначенной для применения в учебном процессе средней школы. Отдельные этапы реализации метода сопровождаются комментарием.

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КАК МЕТОДА УЧЕБНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

- 1. Анализ проблемы и постановка задачи исследования явления (объекта, процесса).**
 - 1.1. Изучение физического явления (объекта, процесса): *сбор информации о явлении* из различных источников, в том числе включающих данные экспериментальных исследований; *анализ, систематизация и обобщение имеющейся информации.*
 - 1.2. Формулировка вопросов, которые интересуют исследователя (*содержательная постановка задачи*).
 - 1.3. *Выдвижение гипотез* 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. *Построение* на основе выдвинутых предположений *физической модели явления (концептуальная постановка задачи)*:
 - а) *уточнение параметров*, описывающих явление (структуру, свойства, состояние объекта или процесса) и характеризующих внешние воздействия на него;
 - б) определение *законов*, связывающих данные параметры;
 - в) выбор *физического приближения* изучаемого явления: отбор и ранжирование учитываемых в модели параметров, введение допущений;*

* *Степень приближенности* модели к оригиналу (ее точность) определяются постановкой задачи и целью моделирования [17, с 51]. Возможны следующие виды допущений для переменных: 1) *быстропротекающие переменные*, протяженность которых во времени или в пространстве столь мала, что при грубом рассмотрении они принимаются во внимание своими *интегральными* или *усредненными характеристиками*; 2) *медленнопротекающие переменные*, протяженность изменения которых столь велика, что в грубых моделях они считаются *постоянными*; 3) *малые переменные* (малые параметры), значения и влияние которых на основные ха-

ра характеристики изучаемого явления столь малы, что в грубых моделях они *игнорируются* [17, с. 50].

г) формулировка в *физических терминах вопросов*, интересующих исследователя.

1.5. Уточнение на основе поставленных вопросов *вида модели*: по характеристикам объекта моделирования (его внешним признакам, структуре, поведению или комплексу этих характеристик) [17, с 26]; назначению модели (*дескриптивная, оптимизационная*); цели моделирования (*исследование, прогнозирование, управление*, в том числе *оптимизация* состояния исследуемого объекта).*

**Исследовательская модель* – модель, применяемая в случае, если отсутствует информация об объекте (его существенных признаках, структуре, поведении, связях с внешней средой). Стаится задача построения теоретической модели изучаемого объекта и ее исследования в вычислительном эксперименте.

Дескриптивная модель описывает состояние объекта или процесса и их возможные характеристики. Основу такой модели составляет разработанная теория явления. Основным назначением данной модели является *прогнозирование* возможных состояний исследуемой системы и их изменений, которые происходят в соответствии с ее внутренними особенностями и взаимодействием с внешней средой, на которые исследователь не может повлиять, выявление характеристик данных состояний, в том числе их численных значений, меняющихся под влиянием различных внешних факторов.

Основу построения дескриптивной модели может составить и эмпирическое знание (выявленные ранее эмпирические закономерности протекания явления). С помощью такой модели могут быть спрогнозированы особенности развития физических процессов при действии комплекса интересующих исследователя факторов, особенности протекания явления в экстремальных и пограничных условиях и т.п.

Оптимизационная модель строится в случае, если допускаются внешние воздействия на объект, которые меняют его состояние, поведение или свойства. Изменение состояния может происходить под влиянием одного или нескольких внешних воздействий на объект исследования. В последнем случае говорят о многокритериальных оптимизационных моделях. Благодаря этим воздействиям состоянием исследуемого объекта можно управлять и при необходимости добиваться требуемых (оптимальных) значений характеристик этого состояния. Управленческая модель используется для принятия эффективных управленческих решений в условиях неопределенности задачи, где критерий выбора не считается определенным. В таких моделях необходимо введение специфических критериев оптимальности, которые позволяют сравнивать альтернативы решений из заданного их множества [17]

- 1.6. Выбор *формы представления результата моделирования* (числом, таблицей, диаграммой, графиком, изолиниями, анимацией и др.).
- 1.7. Определение требуемой *точности результата* моделирования.
- 1.8. Описание *границ применимости модели*, для которых считаются справедливыми результаты моделирования.

2. Построение (или выбор) математической модели явления:

- 2.1. Запись физической модели явления в математических терминах: *построение формализованной математической модели.**

* При исследовании физических процессов математическая модель явления формируется, как правило, уже на стадии постановки задачи, поскольку математика является неотъемлемым языком физической науки.

Математическая модель определяется особенностями исследуемого явления. Виды математических моделей отличаются: *сложностью объекта моделирования* (простые объекты и объекты-системы); *оператором* (линейный, нелинейный; функция, алгебраическое уравнение, дифференциальное или интегро-дифференциальное уравнение, система уравнений, дискретное отображение, имитатор); *входными и выходными параметрами* [111, с. 134–138].

Основу построения математической модели явления образуют известные эмпирические закономерности и физические теории.

В ряде случаев математические соотношения, описывающие поведение моделируемого физического объекта, исследователь устанавливает самостоятельно, опираясь на данные эксперимента и собственные прогнозы, построенные на основе научной интуиции. В частности может быть поставлена и решена задача аппроксимации, которая часто возникает при обработке результатов экспериментов, когда становится необходимым подобрать математическую модель изучаемого процесса, т.е. дать его *приближенное аналитическое описание*. При построении приближенного аналитического выражения (аппроксимации) обычно используется феноменологический подход. Суть этого подхода состоит в том, что при описании изучаемого процесса используются только сведения о его внешних характеристиках и игнорируется причинность особенностей его протекания. В этом смысле феноменологический подход можно уподобить кибернетической модели «черного ящика», для которой анализируется только соотношение «вход-выход», т.е. факт влияния воздействующего фактора на исследуемый параметр. При этом содержимое «черного ящика» остается неизвестным, т.е. физическая природа процесса не рассматривается.¹ Для построения аппроксимации используются различные программные пакеты (Excel, Maple, MathCad, Mathematica и др.).

¹ Бараз, В. Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel: учеб. пособие. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ», 2005. – 102 с.

При моделировании сложных явлений в случае, если описать их поведение математическими уравнениями невозможно или затруднительно, может быть использован некоторый *алгоритм*, обеспечивающий нахождение выходных (неизвестных) параметров явления по заданным (известным) [17, с. 35]. Данный алгоритм, отображает, как правило, последовательность развития процессов внутри исследуемого объекта. В таких случаях речь идет об *имитационном моделировании*, а именно «...имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы» [18, с. 74]. Имитационное моделирование – частный случай математического моделирования.

Суть любой модели, предназначенной для исследования физического явления, заключается в отображении некоторого заданного множества значений его *входных параметров* на множество искомых значений *выходных параметров* [17, с. 35].

В структуре математической модели или заменяющего ее имитатора (алгоритма) различают: 1) *независимые входные параметры* – собственные *внутренние параметры* явления, *управляемые* воздействия на явление, *неуправляемые воздействия* внешней среды; *независимые переменные* – координаты точек пространства и (или) время; 2) *зависимые параметры* – *выходные параметры* явления. При этом каждый параметр может иметь различную «математическую природу»: быть постоянной величиной, функцией, скаляром или вектором, тензором и др. Они могут иметь различное описание (*детерминированное, стохастическое, случайное и др.*), быть *качественными* или *количественными*, а также подразделяются на *стационарные* и *нестационарные*. Если в число параметров модели входят координаты пространства, то модели могут подразделяться на *одномерные, двумерные и трехмерные*. Увеличение размерности модели приводит к увеличению числа используемых для ее описания математических соотношений [111, с. 138–140].

Ряд параметров математической модели явления должен быть задан или указан способ их определения (это некоторые характеристики реальных объектов и процессов) [17, с. 35]. На *область значений входных параметров* могут быть наложены *ограничения в виде равенств и неравенств*, связанные с особенностями исследуемого объекта или процесса.

При построении математической модели отдельные физические характеристики явления необходимо знать с достаточной точностью. Их определение в некоторых случаях может представлять самостоятельную научную проблему. Поиск значений этих характеристик (например, неизвестных коэффициентов) требует проведения специальных вычислительных экспериментов (*решение обратной задачи*), опирающихся на данные физических опытов [63, с. 473].

Несмотря на многообразие физических явлений, их математическое описание сводится к ограниченному числу классов уравнений (математических моделей). Различные физические процессы допускают сходные математические описания.

Отсюда следует, что математические методы, разработанные для одной области физики, могут быть применены и для других ее областей [63, с. 476].

2.2. Постановка *прикладной математической задачи* (дополнение формализованной математической модели *начальными* и *граничными* условиями).*

*Прикладная математическая модель строится на основе системы уравнений, отражающих фундаментальные законы физики и соответствующих *начальных* и *граничных* условиях [111, с. 142].

Начальные условия – условия, определяющие состояние системы в начальный (данный) момент времени. Это характеристики тех элементов системы, которые зависят от ее предшествующей эволюции и могут быть любыми. Причины их значений в прошлом, а не в настоящем. Данные условия определяются экспериментально или задаются исходя из соображений, учитывающих особенности постановки физической задачи [111, с. 131].

Граничные условия – формализованные физические условия, задающие поведение исследуемой системы на границе рассматриваемой области. Эти условия определяются в соответствии с возможными особенностями протекания физического явления на этой границе. Граничные условия соединяют модель с окружающей средой. Без них, моделирование не определено, и во многих случаях невозможно. Большинство граничных условий могут быть охарактеризованы как установившийся или временный процесс. *Установившиеся граничные условия* сохраняются на протяжении всего процесса моделирования. *Переходные граничные условия* изменяются со временем и используются для моделирования событий или циклических явлений.

При построении математической модели целесообразно выполнить ее *масштабирование* (*переход к безразмерным величинам*). Необходимо выбрать характерные масштабы для переменных параметров и записать уравнения в безразмерном виде. Это упрощает осмысление физической ситуации, уменьшает число параметров модели (понижает размерность задачи), упрощает последующий анализ математической задачи, позволяет делать обоснованные допущения при поиске приближенных решений, снижает (что важно!) влияние ошибок округления при вычислении [111, с. 144].

2.3. *Качественный анализ математической задачи*, проверка ее корректности.*

*Предварительный качественный анализ математической задачи является важным условием успешности последующих этапов моделирования. Математическая задача является корректно поставленной, если ее *решение существует*, оно *единственное* и *непрерывно зависит от исходных данных*. Решение считается непрерывным, если малому изменению исходных данных соответствует достаточно малое изменение решения [17, с. 45].

Для предварительного исследования математической модели первоначально используются *традиционные методы*: 1) *качественный размерностный анализ*; 2) *поиск точных решений* системы уравнений для *частных* и *предельных* случаев. Полученные на этом этапе точные решения будут использоваться в дальнейшем как *тесты* для проверки качества вычислительных алгоритмов решения полной задачи [63, с. 472].

В ходе исследования математической модели может быть выполнен *анализ и уточнение введенных приближений* (на основе сравнительной оценки относительного вклада в результат тех или иных факторов). Оценивается также *число независимых параметров*, входящих в уравнения. При необходимости осуществляется их уменьшение, в частности за счет перехода к безразмерным параметрам, характеризующим явление [100, с. 18]. Дается оценка диапазона изменения независимых параметров. Определяются характерные *диапазоны изменения искомых величин* (характерные размеры системы, характерное время протекания процесса и т.п.). Проводится контроль выходных параметров модели на предмет *удовлетворения граничных условий*. Дается *оценка физического смысла* исходных и промежуточных соотношений, получаемых в процессе моделирования. Можно на основе анализа уравнений предсказать на качественном уровне характер поведения системы, например, ее переход в определенное состояние. Все выполняемые в ходе анализа математической модели оценки рассматриваются на предмет их реалистичности [111, 147–148].

3. Составления алгоритма для нахождения решения поставленной математической задачи.

3.1. Выбор и обоснование метода решения математической задачи (аналитического, численного, имитационного), определение способа оценки погрешности данного метода.*

* Решение системы уравнений возможно аналитическими и/или численными методами. *Аналитическое решение* обладает большей общностью, но реализуемой в основном для простых моделей. Это решение может быть точным или приближенным. При использовании приближенных аналитических методов значения искомых величин рассчитываются с любой точностью. Аналитическое решение можно протабулировать, представить в виде таблицы или графически, проиллюстрировать в динамике [126].

Численное решение. Обращение к численным методам решения осуществляется в случае невозможности решить задачу аналитическим способом. В ряде случаев это целесообразно и при наличии аналитического решения, поскольку численное решение может оказаться по ряду причин более рациональным.

Решение численным методом носит частный характер (только для заданного значения входных параметров). Оно является всегда приближенным, но при этом применимо к исследованию моделей произвольной сложности. Результаты численного решения, как и аналитического, могут быть представлены таблицей, статичной графикой или динамической визуализацией.

Выбор метода численного моделирования определяется *видом математической модели* явления. Для многих важных классов математических задач разработаны разнообразные численные методы решения. Для динамических и стохастических процессов эти методы различаются. При исследовании динамических закономерностей протекания явлений требуется запись уравнений их математических моделей в дискретной форме. Способы дискретизации математической модели подразделяются на *конечно-разностные* и *проекционные*.

При исследовании стохастических процессов используется специальная группа численных методов – методы Монтэ-Карло (ММК). Их применение к решению поставленной задачи имеет свою специфику. В этом случае нет необходимости создания разностной (дискретной) математической модели. Реальному процессу в этом методе сопоставляется вероятностный процесс. Решение имитационной (вероятностной) модели считается решением поставленной задачи [17, с. 15].

Используемый метод численного решения должен предусматривать *оценку погрешности результатов вычислений*, которые определяются неточностью алгоритма численного метода и ошибкой округления. Выбор метода численного решения по точности полученного результата следует согласовывать с точностью входных параметров задачи (точность выходных данных не должна быть существенно выше).

Сравнение численного (приближенного) решения поставленной задачи с результатами аналитических решений (если они существуют) или решений, реализуемых для данной задачи в частных и/или предельных случаях, может служить основанием для оценки *точности численного метода*. С этой же целью используются известные данные физического эксперимента.

При решении ряда задач с целью обоснования *достоверности результатов решения* целесообразно использовать принципиально разные численные методы [96].

3.2. Построение дискретного аналога прикладной математической задачи: запись системы уравнений в виде совокупности алгебраических формул, по которым будут проводиться вычисления на ЭВМ.*

*Необходимость записи математической задачи в дискретной форме определяется тем, что компьютер работает с дискретным и ограниченным множеством знаков (чисел).

При *численном моделировании* дискретизации подвергается система математических соотношений. Важен выбор шага дискретизации, определяющего близость приближенного численного решения к решению исходной прикладной математической задачи. От шага дискретизации переменных величин при использовании численных методов зависит точность результатов КЭ (с уменьшением шага точность возрастает). Обычно необходима дискретизация как временной, так и пространственной переменных (т.е. построение временных и пространственных сеток). Должна быть проведена оценка принятого решения о шаге дискретизации не только с позиции точности, но и экономичности расчетов, поскольку в вычисли-

тельном эксперименте необходимо проводить большие серии однотипных расчетов для изучения влияния различных параметров задачи [111, с. 149].

При *имитационном моделировании* (характерном для исследования случайных процессов) – на отдельные элементы разбивается сам объект исследования. В последнем случае система математических соотношений для объекта в целом (как правило, сложной системы) не записывается, а заменяется некоторым алгоритмом, моделирующим ее поведение и учитывающим взаимодействие друг с другом моделей отдельных элементов объекта-системы. Алгоритмические модели не позволяют получить решение в аналитической форме, что затрудняет анализ результатов моделирования. Однако при этом такие модели могут быть использованными для исследования объектов любой сложности [111, с. 133–134].

3.3. Выбор (или построение) вычислительного алгоритма (порядка следования и условий применения формул для решения поставленной математической задачи).*

* Замена дискретного аналога прикладной математической задачи вычислительным алгоритмом фактически приравнивается к *планированию вычислительного эксперимента*, поскольку данным алгоритмом задается последовательность арифметических и логических действий, выполняемых на компьютере и позволяющих за конечное число шагов получить решение дискретной задачи [111, с. 134].

План эксперимента – это совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации серии вычислений. При проведении эксперимента задается определенный порядок варьирования различных параметров модели с целью нахождения искомого результата [17, с. 216]. Все это находит отражение в содержании вычислительного алгоритма.

При построении алгоритма вводятся начальные и граничные условия, задаются неизменные параметры объекта моделирования, определяются входные параметры, что позволяет в итоге получить соответствующие им значения выходных параметров модели. Предусматриваются циклы расчетов при изменении значений ряда входных параметров (факторов, влияющих на свойства и поведение объекта моделирования). Определяются интервалы изменений варьируемых параметров. Важно отметить, что в вычислительном эксперименте, в отличие от физического, нет никаких ограничений на выбор управляемых факторов и характер их изменения [17, с. 213].

Вводится шаг дискретизации. Могут быть проведены циклы расчетов при разных значениях данного шага. Выбором шага дискретизации при построении алгоритма можно добиться близости решения модельной задачи к решению исходной задачи исследования. Изменение шага дискретизации может привести к выявлению неожиданных эффектов в поведении модели.

Составленный алгоритм предварительно (до программирования) *можно протестировать*. С этой целью исследователь сам последовательно выполняет команды алгоритма и вносит результаты в трассировочную таблицу. Фактически модели-

руется процесс обработки информации на компьютере [127, с. 86]. Методом трассировки (моделированием вручную процесса обработки информации компьютером) может быть выполнена *проверка работы алгоритма*, выявлены *ошибки* в его построении.

Как видно, в вычислительном эксперименте проводятся большие серии однотипных расчетов для изучения влияния на поведения модели различных факторов. Поэтому необходимым условием эффективности вычислительного эксперимента является *экономичность* лежащего в его основе алгоритма.

4. Разработка (выбор) программы реализации алгоритма на ПК

4.1. Реализация алгоритма в виде программы приближенных вычислений на компьютере (кодирование алгоритма решения задачи), обеспечение на программном уровне контроля требуемой точности расчетов.*

* Составление программы для компьютера возможно с использованием:

- 1) языков программирования;
- 2) готовых сертифицированных программ:
 - пакетов прикладных программ (для решения общенаучных и типовых инженерных задач); системных программ; пакетов для обеспечения систем автоматизированного проектирования и систем автоматизации научных исследований и др.;
 - пакетов научной и инженерной графики, реализующих для несложных математических моделей визуализацию выходных данных (в том числе в 3D-формате), а также эффекты анимации;
 - универсальных прикладных средств вычислений (электронные таблицы MS Excel, OpenOffice.org, Calc),
 - универсальных математических пакетов (Mathcad, Maple и др.), объединяющих средства вычислений и математической обработки данных [89].

Поскольку математические методы, разработанные для одной области физики, могут быть применены и для других ее областей, то один и тот же пакет прикладных программ может быть с успехом использован в вычислительных экспериментах для различных физических объектов [63 с. 476].

С точки зрения программирования вычислительный эксперимент характерен тем, что для каждой модели необходимо вести расчет для достаточно большого числа вариантов входных параметров. Кроме того, по ходу эксперимента приходится изменять (уточнять) саму математическую модель. Эта особенность – "многовариантность" и "многомодельность" – вычислительного эксперимента проявляется в многократных изменениях реализующей алгоритм программы, причем изменения касаются и структуры программы в целом, и отдельных ее частей [63, с. 473].

4.2. Программная реализация заданной формы представления результатов моделирования (числом, таблицей, диаграммой, графиком, изолиниями, анимацией и др.).

- 4.3. *Программирование пользовательского интерфейса КЭ* (диалога «модель ↔ исследователь»).
- 4.4. *Отладка программы* (исправления нарушений грамматики языка программирования и построения алгоритма).
- 4.5. *Тестирование программы*: проверка корректности ее работы на задачах, для которых существуют точные аналитические решения, и/или посредством сравнения с известными данными физического эксперимента.*

* В ходе тестирования контролируется: 1) удовлетворение модели поставленным начальным и граничным условиям; 2) адекватное поведение модели при действии на нее типовых входных сигналов (например, в предельных и частных случаях); 3) совпадение с заданной точностью результатов моделирования с данными физического эксперимента [126]

Чем больше изучено ситуаций, в которых модель оказалась способна корректно воспроизвести реальность, тем с большим основанием можно использовать ее при описании соответствующих эффектов в сходных условиях.²

5. Проведение компьютерного эксперимента.*

* Вычислительный компьютерный эксперимент проводится в два этапа: 1) в рамках одной вычислительной модели (изменение отдельных ее параметров для оценки их влияния на результат); 2) в рамках некоторого набора математических моделей (их иерархической цепочки). Из возможного набора математических моделей выбирается в итоге та, которая наиболее проста и дает при этом результаты, согласующиеся с достаточной точностью с экспериментальными данными. Должна быть согласована также точность входных и выходных данных модели [111, с 140].

- 5.1. Реализация *первого этапа* в соответствии с поставленной задачей в рамках одной вычислительной модели (исследование, прогнозирование или управление, включая оптимизацию):

– *исследование* средствами КЭ:

- новой (или уточнение имеющейся) теории физического явления на основе численного решения поставленной задачи как следствия данной теории (определение параметров явления, их взаимосвязи, особенностей протекания явления, их связи с воздействиями внешней среды и др.);*

² Баяндин Д. В. Интерактивные компьютерные модели и формирование элементов эмпирического мышления // Современные проблемы науки и образования. – 2015.. – № 5. – С. 449.

- * В данном КЭ используются как *дескриптивные*, так и *оптимизационные модели*. На основе разработанной теоретической модели явления, которая имеет статус теоретической гипотезы, в КЭ исследуются одно или несколько ее частных следствий. Это могут быть полученные на основе численного решения поставленной задачи значения параметров исследуемого физического явления, данные об их взаимосвязи, информация об особенностях протекания явления и влияния на этот процесс факторов внешней среды и т.д. Результаты моделирования сравниваются с данными реального физического эксперимента. Степень соответствия обеспечивается на втором этапе исследования многократной корректировкой собственно компьютерной модели явления, а при необходимости модификацией и его предлагаемой теоретической модели. В случае достижения согласия результатов КЭ с данными физического эксперимента теоретическая гипотеза обретает статус полноправной теории, на основе которой выполняются объяснение явления, в том числе эмпирических закономерностей его протекания. Результатом КЭ в этом случае является получение нового теоретического знания (понимание сути явления, его причины, «механизма» существования и развития)
- аппроксимационной модели явления (объекта, процесса), которая строится при изначальном отсутствии математической модели для его описания (выполняется численное решение поставленной задачи с целью получения информации о свойствах и поведении объекта или процесса);*
- * Полученная на этапе построения математической модели аппроксимация явления исследуется средствами компьютерного моделирования (как правило, имитационного). Выполняется *идентификация* данной модели – установление ее сходства с реальными характеристиками исследуемого явления как по точности результатов моделирования, так и по соответствию смысла принимаемого приближенного аналитического выражения содержательной сути изучаемого явления или процесса³
- прогнозирование:*
- неизвестных параметров физического явления в заданных условиях;
- структуры объекта и определяющих ее связей, их изменения при смене условий;
- поведения объекта (системы) при различных внешних воздействиях; причинно-следственных связей (динамических, вероятностных), функциональных и др.;
- комплексное прогнозирование;

³ Севастьянов, Л. А., Ловецкий, К. П., Ланеев, Е. Б., Бикеев, О. Н. Алгоритмы вычислительного эксперимента для проектирования оптических наноструктур: учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 185 с.

- * Прогнозирование осуществляется на основе известной теоретической модели явления. Компьютерное моделирование применяется для численного решения конкретной прикладной задачи. Основу такого КЭ составляют *дескриптивные* и *оптимизационные* модели. Результаты прогнозирования сверяются с данными реального физического эксперимента. В случае несовпадения компьютерная модель уточняется. Методом последовательных итераций находится ее вариант, обеспечивающий необходимую точность прогнозирования.

Наличие теоретического знания о явлении не исключает обнаружение в ходе такого КЭ неожиданных физических эффектов, анализ которых тоже может привести к необходимости уточнения теоретической модели исследования, в частности границ ее применимости.

К прогностическим может быть отнесен диагностический вычислительный эксперимент. Данный эксперимент используется при обработке данных натуральных и лабораторных экспериментов. «По дополнительным косвенным измерениям делается вывод о внутренних связях явления или процесса. В условиях, когда математическая модель исследуемого процесса известна, в ряде случаев представляет интерес задача ее идентификации, например, определение по известным данным физических экспериментов коэффициентов математических уравнений. Диагностическому вычислительному эксперименту обычно ставится в соответствие обратная задача математической физики»⁴

В силу ряда обстоятельств прогнозирование на основе КЭ может являться единственным методом получения научной информации. В этом случае КЭ выполняет функцию замещения физического эксперимента (при практически невыполнимом или нецелесообразном эксперименте) [87, с. 2]

- *управление, включая оптимизацию*: поиск значений входных параметров для получения объекта или системы с нужными характеристиками в заданном состоянии.*

- * Построение и использование *оптимизационных моделей* при исследовании физических процессов осуществляется на основе известного теоретического знания. Такие модели предназначены для определения оптимальных (наилучших) с точки зрения некоторого критерия параметров моделируемого объекта или же для поиска оптимального (наилучшего) режима управления некоторым процессом. Как правило, такие модели строятся с использованием одной или нескольких *дескриптивных моделей* и включают некоторый критерий, позволяющий сравнивать различные варианты наборов значений выходных величин между собой с целью выбора наилучшего. На область значений входных параметров могут быть наложены ограничения в виде равенств и неравенств, связанные с особенностями рассматриваемого объекта или процесса.

⁴ Севастьянов, Л. А., Ловецкий, К. П., Ланеев, Е. Б., Бикеев, О. Н. Алгоритмы вычислительного эксперимента для проектирования оптических наноструктур: учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 185 с.

Для большинства реальных процессов, конструкций требуется определение оптимальных параметров сразу по нескольким критериям. В этом случае решаются так называемые многокритериальными задачи оптимизации [17, с. 30-31].

5.2. Анализ решения поставленной задачи по результатам первого этапа КЭ*:

- сравнение с известными данными физического эксперимента (с целью подтверждения теоретической гипотезы, проверки корректности аппроксимационной модели, результатов прогнозирования и оптимизационных решений);
- оценка точности результатов моделирования и соответствия по точности входных и выходных данных модели;
- интерпретация выявленных (ранее непредусмотренных) эффектов моделирования.

* Необходимо проконтролировать поведение модели в известных условиях: удовлетворение модели поставленным начальным и граничным условиям; поведение модели при действии на нее типовых входных сигналов.

Контролируется получение побочных эффектов и результатов, анализ которых может дать новые направления в исследованиях или потребовать перестройки самой модели. Более того, случается, что в ходе вычислительного эксперимента исследователь неожиданно открывает новые процессы и свойства, о которых ему ранее ничего не было известно [17].

На этапе анализа результатов первого этапа моделирования становится ясным, удачно ли выбрана математическая модель и ее вычислительная реализация. Если есть необходимость, то модели (физическая, математическая), численные методы их расчета, алгоритм и его программная реализация уточняются, и весь цикл вычислительного эксперимента повторяется. Это связывается со вторым этапом проведения КЭ.⁵

5.3. Организация второго этапа исследования – изучение иерархической цепочки компьютерных моделей, отражающей эволюцию математической модели и методов ее расчета в последовательных циклах:*

- *уточнение* модели в последовательных циклах вычислительного эксперимента с целью проверки (тестирования) вычислительных алгоритмов приближенного решения полной задачи;
- *усложнение* модели с целью исследования полной задачи (и соответственно изучения на основе модели реального объекта).

⁵ Севастьянов, Л. А., Ловецкий, К. П., Ланеев, Е. Б., Бикеев, О. Н. Алгоритмы вычислительного эксперимента для проектирования оптических наноструктур: учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 185 с.

- * Модельные математические задачи в цикле вычислительного эксперимента строятся для достижения двух целей: 1) качественного исследования полной задачи (и соответственно, изучения на основе модели реального объекта); 2) проверки (тестирования) вычислительных алгоритмов приближенного решения полной задачи.⁶

Вычислительный эксперимент проводится в рамках некоторого набора математических моделей. По завершению цикла из возможного набора моделей выбирается та модель, которая наиболее проста и при этом дает результаты, согласующиеся с экспериментальными данными с достаточной точностью [111, с.140]. Исследование носит итерационный характер. В процессе каждого последующего цикла вычислительного эксперимента компьютерная модель уточняется. Эти уточнения могут быть связанными с математической моделью, вычислительным алгоритмом, его программной реализацией, причем изменения могут касаться и структуры программы в целом, и отдельных ее частей. Для каждой следующей версии модели расчеты выполняются вновь для всего перечня варьируемых параметров задачи. Уточнение модели происходит до тех пор, пока результаты компьютерного моделирования не будут согласованы с необходимой точностью с данными физического эксперимента [111, с.142]. В этом заключается особенность КЭ – его "*многовариантность*" и "*многомодельность*". Это сложный процесс исследования (особый метод), в котором неразрывно связаны математическая модель, вычислительный алгоритм, расчеты на ЭВМ и физический эксперимент [63, с 473– 476].

Следует различать процессы *уточнения* и *усложнения* модели. Уточнение осуществляется за счет совершенствования математической модели и ее вычислительного алгоритма, а усложнение – за счет «наполнения» модели дополнительными параметрами с целью наращивания степени ее соответствия реальному объекту исследования.

Наращивание сложности модели в цикле вычислительного эксперимента осуществляется постепенно. Это реализуется как за счет усложнения *начальных и граничных условий* модели исследуемого объекта, так и его *физической модели* – системы уравнений, отображающей фундаментальные законы науки. Изменения физической модели сводятся к дополнительному (аддитивному) учету факторов, входящих в ее уравнения [111, с.142]. Последовательно строится ряд близких ранжированных математических моделей (их иерархическая цепочка): *от самой простой модели к более сложной*, удовлетворительно отражающей на данном этапе познания свойства, структуру и поведение реального объекта исследования. На каждом последующем уровне сложности модели может возникнуть необходимость дополнительного уточнения ее вычислительного алгоритма.

Усложнение, как и упрощение модели ограничиваются соображениями разумности. При стремлении к построению простой модели должен соблюдаться *следую-*

⁶ Севастьянов, Л. А., Ловецкий, К. П., Ланеев, Е. Б., Бикеев, О. Н. Алгоритмы вычислительного эксперимента для проектирования оптических наноструктур: учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 185 с.

щий принцип: упрощать модель можно до тех пор, пока сохраняются основные свойства, характеристики и закономерности, присущие оригиналу. Модель считается достаточно простой, если современные средства исследования (математические, информационные, физические) дают возможность провести качественный и количественный анализ с требуемой точностью. С целью меньшей потери адекватности упрощение моделей целесообразнее проводить: 1) на физическом уровне с сохранением основных физических соотношений, 2) на структурном уровне с сохранением основных системных свойств. Упрощение же моделей на математическом уровне может привести к существенной потере степени адекватности [17, с.46–47]

В изучении этой цепочки компьютерных моделей, отражающей эволюцию математической модели и методов ее расчета в последовательных циклах, и реализуется процесс познания реального физического явления (объекта, процесса) [111, с.142].

В ходе всех циклов вычислительного эксперимента осуществляется *контроль точности* выполняемых расчетов. Результаты эксперимента *сохраняются и накапливаются* в базе данных [126].

6. Анализ результатов вычислительного эксперимента. Формулировка выводов.*

6.1. *Изучение результатов моделирования, их систематизация и обобщение.*

6.2. *Интерпретация выявленных (ранее непредусмотренных) эффектов моделирования (при наличии).*

* Результаты компьютерного эксперимента накапливаются и сохраняются в виде иерархической цепочки моделей и соответствующих им результатов вычислительного эксперимента. Обработка полученных данных осуществляется во многом в традициях классического физического эксперимента. Применяются ее различные способы, в том числе статистический. При этом форма представления результатов КЭ имеет место принципиальное отличие. Они оперативно визуализируются средствами компьютерной графики в виде таблиц различных видов, диаграмм, графиков, изолиний, анимаций и т.д., что существенно облегчает и обогащает процессы их анализа, систематизации и обобщения.⁷

Представление средствами компьютерной графики результатов моделирования в максимально наглядной и удобной форме не только экономит время исследователя на их обработку, но и решает важную задачу *визуализации абстракций*, полученных в ходе решения математической задачи модели. Изолинии, цветовые градиенты, графики, динамические 2D и 3D-эффекты дают наглядную и исчерпывающую информацию о распределении значений различных параметров исследуемого объекта.

⁷ Севастьянов, Л. А., Ловецкий, К. П., Ланеев, Е. Б., Бикеев, О. Н. Алгоритмы вычислительного эксперимента для проектирования оптических наноструктур: учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 185 с.

дуемой модели и позволяют выявить закономерности данного распределения, а эффекты анимации демонстрируют эволюцию исследуемых процессов. В сущности это визуализация математических гипотез в виде автоматически генерируемых компьютером изображений. Компьютерная визуализация как интегративный результат обработки числового множества предъявляет исследователю существенно больше информации, чем длинные ряды чисел и становится действенным инструментом познания, с помощью которого добывается новое знание. Этим представлена особая когнитивная функция компьютерной графики, используемой в КЭ [111, с.159-160].

Важным свойством модели с точки зрения полученных в процессе исследования результатов является ее *предсказательная сила*. Модель можно рассматривать как «упакованное знание», несущее вполне определенную, хотя и ограниченную информацию об исследуемом явлении.⁸ Это особым образом закодированная информация, в том числе и та, которую исследователь до проведения КЭ не знает. Это знание добывается в процессе исследования модели средствами КЭ. Полученные данные носят гипотетический характер. Заложена в компьютерную программу технология обработки результатов, их последующий анализ и интерпретация проводятся с учетом имеющихся теоретических представлений и данных реальных физических экспериментов.

По итогам вычислительного эксперимента дается описание исследуемого явления, прогнозируются особенности его протекания в тех или иных условиях, возможно пока или в принципе недостижимых в реальных условиях. Такой характер вычислительного эксперимента соответствует проведению теоретических исследований в фундаментальных науках.⁹

6.3. Проверка *достоверности* результатов КЭ; указание *границ применимости модели*, для которых считаются справедливыми результаты моделирования.*

* Полученные результаты сравниваются с известными натурными или лабораторными экспериментами (если последние осуществимы), может быть проведено сравнение с результатами других, хорошо себя зарекомендовавших моделей. Различают качественное и количественное совпадения результатов сравнения [111, с. 157].

При *качественном сравнении* требуется совпадение лишь некоторых характерных особенностей в распределении исследуемых параметров (наличие экстремальных точек, положительное и отрицательное значение найденных параметров, их возрастание или убывание и пр.). При наличии удовлетворительных результатов качественного сравнения имеет смысл проводить *количественное сравнение*. Контролируется согласованность по точности входных и выходных параметров моде-

⁸ Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981 – 488 с.

⁹ Севастьянов, Л. А., Ловецкий, К. П., Ланеев, Е. Б., Бикеев, О. Н. Алгоритмы вычислительного эксперимента для проектирования оптических наноструктур: учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 185 с.

ли. Большое значение имеет оценка точности совпадения данных КЭ и с результатами физического эксперимента [111, с. 158].

При проверке модели устанавливается соответствие точности полученных результатов точности, оговоренной при физической постановке задачи. При количественном сравнении оценивают точность вычисления параметров. В моделях, предназначенных для выполнения оценочных и прикидочных расчетов, удовлетворительной считается точность 10–15 %. В моделях, используемых в управляющих и контролируемых системах, требуемая точность может быть менее 2 % [17, с. 65].

Любая модель является некоторым приближением к оригиналу. Таким образом, оценка истинности модели как формы знаний сводится к выявлению содержания в ней как объективных достоверных знаний, так и знаний, приближенно описывающих оригинал, а также того, что составляет незнание [17, с. 52]. Другими словами, должны быть выявлены и указаны *границы применимости модели*, для которых считаются справедливыми результаты моделирования. Данные границы определяются на основе исследования модели в условиях варьирования начальных и граничных условий, определения критических значений диапазона варьируемых параметров, характеризующих свойства объекта моделирования, при которых его результаты существенно расходятся с данными физического эксперимента [111, с. 158].

Если на некотором этапе вычислительного эксперимента достигнуто необходимое понимание особенностей исследуемого физического процесса и получено удовлетворительное согласие с данными физического эксперимента в указанных границах применимости, вычислительный эксперимент можно считать законченным [63, с. 476].

6.4. Формулировка *выводов*, включая определение направлений *практического использования* разработанной модели.*

* По итогам компьютерного эксперимента на основе качественного и количественного совпадения его результатов с данными эмпирических исследований *делаются заключения*: о достоверности результатов вычислений на компьютере, о состоятельности построенных для исследования явления моделей (физической и математической) и о справедливости совокупности гипотез, сформулированных на их основе [17, с. 65].

Делаются выводы относительно возможных направлений *практического использования модели*. Если построенная модель адекватно описывает явление, то на этом основании можно давать обоснованные заключения о причинах явления, взаимосвязях его различных сторон, делать прогнозы относительно будущих этапов его протекания, оптимальных параметрах данного процесса, режимах управления явлением [96, с. 22].

К выводам может быть отнесена постановка задачи продолжения (дальнейшего развития, совершенствования) вычислительного эксперимента. По завершению КЭ естественно стремление построить на основании расчетов задачи в полной постановке некоторую упрощенную математическую модель, например интерполяционного типа, коэффициенты которой подбираются по результатам вычисли-

тельного эксперимента. Такие модели, описываемые несложными наглядными формулами или обыкновенными дифференциальными уравнениями, оказываются весьма полезными и для инженерных целей, и при планировании дальнейших расчетов в исследуемой области [63, с. 476].

Практическое использование и анализ результатов моделирования позволяют не только оценить возможность упрощения модели с целью повышения ее эффективности при сохранении требуемой точности, но и показать, в каком направлении следует развивать модель в дальнейшем, в частности с целью исследования различных модификаций исследуемого объекта [17, с. 66].

Важно отметить универсальность вычислительного эксперимента, которая позволяет легко переносить эту технологию на исследование других объектов. Это характерно в целом для математического моделирования и порождено тем, что многие явления имеют одни и те же математические описания. Эта особенность позволяет на основе накопленного опыта моделирования, банка вычислительных алгоритмов и программного обеспечения эффективно решать новые исследовательские задачи [111, с.160].

1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ УЧЕБНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИМУЛЯЦИЙ ПО ФИЗИКЕ

Одной из первых классификаций учебных компьютерных симуляций по физике является классификация, предложенная Н.А. Оспенниковым [101]. Автор выделяет три основания для построения видового разнообразия учебных КС: 1) объект компьютерной симуляции, 2) способ реализации на компьютере, 3) цели применения в обучении (назначение).

В нашем исследовании состав оснований данной классификации дополнен, уточнено разнообразие КС в отдельных их видовых группах.

Соответственно выделенным основаниям определены следующие разновидности учебных компьютерных симуляций:

1. По *объекту моделирования* различают компьютерные симуляции:

- а) явлений (объектов, процессов) природы;
- б) объектов второй природы (технических объектов и их комплексов, а также реализуемых на них технологических процессов);
- в) идеализированных объектов, отображающих сущность физических теорий, в том числе объясняющих закономерности процессов микро- и макромиров;
- г) действий и операций пользователя с модельными объектами (а, б, в).

2. По *способу реализации* выделяют компьютерные симуляции, построенные на основе:

- а) аналитического решения математической модели явления (объекта, процесса);
- б) численного решения математической модели явления
- в) имитационного моделирования, базирующегося на построении алгоритма поведения исследуемого явления (при отсутствии общего математического описания);
- г) гибридного моделирования, основанного на комбинации указанных выше способов реализации КС.

3. По *назначению* компьютерные симуляции могут быть объединены в две большие группы. Это КС, к дидактическим целям которых относятся:

- а) усвоение элементов «готового знания» (концептуального, процессуального);
- б) организация учебного исследования.

4. По *уровню интерактивности* компьютерные симуляции могут обеспечивать различные формы взаимодействия (диалога «компьютер ↔ пользователь»):

- а) условно-пассивные,
- б) активно-операционные,
- в) активно-действенные,
- г) активно-деятельностные [104, с. 361–367].

Отметим, что в третьей группе в составе подгрупп (а) и (б) имеются подвиды КС, отличающиеся свои назначением. Их дифференциация осуществляется в соответствии со структурой знаний, способами потребления «готового знания» и видами учебного исследования [104, с. 95-95, с. 126–132].

1.4. ИСТОРИЯ РАЗРАБОТКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИМУЛЯЦИЙ УФЭ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ

История разработки виртуальных моделей УФЭ в отечественной практике насчитывает около трех десятилетий. Начало их создания относится к 90-м гг. прошлого столетия. Первоначально это были модели, предназначенные исключительно для проведения компьютерного эксперимента (КВЭ) (рис. 4, в). При этом в публикациях, освещающих практику их применения

в обучении, подчеркивалась важность соотнесения результатов компьютерного моделирования (компьютерной симуляции) с характеристиками целевой системы (свойствами реальных объектов), которые фиксируются в физических опытах. Рассматривалось в связи с этим объединение реального и модельного (компьютерного) экспериментов в форме выполнения «гибридных работ», включающих экспериментальные измерения в лаборатории с последующим численным моделированием изучаемого процесса с целью выбора теоретических моделей, наиболее адекватно его описывающих. Выполнение таких работ, по мнению А.С. Чирцова, имеет своей целью привлечение обучающихся к научно-исследовательской деятельности в области компьютерного моделирования [162, с. 28].

В большинстве случаев такие модели были предназначены для вузов. Для средней школы моделей этого вида было немного. В частности в начале 2000-х предметные серии таких моделей, в том числе по физике, были созданы командой разработчиков политехнического университета под руководством О. И. Мухина [28]. Подготовленный этой командой ресурс для учащихся средней школы вышел под названием «Виртуальная физика» (активная обучающая среда, Д. В. Баяндин, О. И. Мухин и др., Пермь.: РЦИ. ПГТУ. 1998–2005). В работе Д. Б. Баяндина [23, с.41], посвященной описанию данного ресурса, подчеркивается необходимость организации на его основе специального модельного практикума во взаимосвязи с выполнением учащимися физических опытов в школьной лаборатории. Автор отмечает, что во всех случаях результаты компьютерного моделирования (вычислительного эксперимента) должны сравниваться с данными физического эксперимента.

Позднее в более широком контексте взаимосвязь численного и физического экспериментов рассматривается в работах С. Е. Попова и Д. Ф. Терегулова. Авторы вводят определение «*натурно-вычислительного эксперимента*» как самостоятельного метода обучения физике, основанного на интеграции лабораторного эксперимента и компьютерного моделирования [112, с. 63]. Обсуждаются разные способы интеграции (параллельное и последовательное выполнение, смешанный натурно-вычислительный эксперимент). По мнению авторов, такой подход позволяет расширить границы лабораторных исследований. Изменяя параметры численной модели, начальные и граничные условия моделирования, можно исследовать характерные особенности

целевой системы и ее поведение в более широком спектре разнообразных ситуаций.

Первое десятилетие 2000-х гг. отмечено использованием компьютерных симуляций УФЭ с целью создания *виртуальных лабораторных работ*. По мнению А.С. Чирцова, такие симуляции экспериментальных установок концептуально близки к электронным конструкторам виртуальных физических систем. Отличаются лишь их функции: «... первый тип ресурсов представляет собой электронный аналог экспериментальной деятельности (т.е. *симулятор* – отмечено нами, Д. А.), второй – теоретической» [162, с. 13].

Позднее внимание исследователей и разработчиков в большей степени стало уделяться реализации дидактических функций компьютерных моделей УФЭ. Появились многочисленные версии компьютерных симуляторов традиционных лабораторных физических экспериментов. Согласно трактовке Д. И. Троицкого и Е. Е. Диковой такие виртуальные лабораторные работы определяются как «... интерактивные компьютерные программные средства, созданные на основе лабораторных работ и имитирующие всю работу с реальными установками и физическими приборами» [145, с. 122]. Авторы дают обоснование необходимости их применения в обучении. Отмечается, что данные работы могут быть полезны в нескольких случаях: 1) в качестве замены реального эксперимента при дистанционном обучении; 2) как альтернатива слишком дорогим, опасным, требующим много места, а также слишком долгим или скоротечным опытам; 3) в качестве тренажёра перед проведением реального эксперимента, что позволит познакомиться с основными принципами, типичными ошибками и приобрести необходимые навыки работы с комплексным оборудованием или опасными реактивами. При всех преимуществах виртуальных лабораторных работ справедливо указывается на то, что нельзя полностью отказываться от традиционных лабораторных экспериментов.

На возможность создания компьютерных моделей УФЭ, аналогичных традиционным лабораторным работам, указывается в публикациях Д. В. Баяндина. Подчеркивается достоинство таких симуляций, прежде всего, как средства наглядности. При этом автор считает, что такие симуляции целесообразны лишь в том случае, если их основу составляет сложная система уравнений, частные случаи решения которой не очевидны и могут быть получены только в ходе численного моделирования [23, с. 36]. Автором указы-

вается полезность таких виртуальных лабораторных работ именно с точки зрения приобретения учащимися нового знания в форме прогноза поведения исследуемой системы. Высказывается также идея о создании на базе таких КМ интерактивных тренажеров для отработки у учащихся отдельных экспериментальных умений (как средства подготовки к лабораторным занятиям) [23, с. 42]. Симуляции такого типа были созданы и представлены в указанном ранее ресурсе «Виртуальная физика» (Д. В. Баяндин, О. И. Мухин и др.) [43, 169]. Аналогичные симуляции включены в образовательный комплекс по физике «Увлекательная реальность» (АО «Эволента» [100], а также в цифровой ресурс «Виртуальные лаборатории для общего, профессионального и дополнительного образования (физика, химия, технология)» (Российская компания Vizex) [44].

По мере накопления компьютерных моделей УФЭ в современной образовательной среде дискуссии по поводу их дидактической целесообразности только обострились. В частности утверждалось, что если основу разработки таких моделей составляет известный эмпирический закон, а учащийся в ходе модельного эксперимента «заново открывает» его, то «... такое «исследование» фактически превращается в банальную табуляцию готовой зависимости, имитацию интеллектуальной деятельности», не имеющей особой дидактической ценности» (Д. В. Баяндин [24, с. 38]. Проще и полезнее, по мнению автора, в таких случаях проводить физические опыты в лаборатории на реальной установке. Однако, продолжает Д. В. Баяндин, «... если процесс, описываемый моделью, многофакторный, многоэтапный, если велико количество задействованных в нем тел, то наблюдение и обобщение данных на выходе будет содержательным, а не имитирующим» [24, с. 39]. Такие модели имеют неоспоримую познавательную ценность. В отдельных случаях, тем не менее, применение компьютерных моделей первого типа все-таки может быть оправдано. Например, если они разработаны с целью реконструкции исторического эксперимента, имитации сложных или опасных опытов, визуализации невидимых элементов системы и некоторых абстрактных понятий (векторы сил, силовые линии полей, эквипотенциальные поверхности и др.) (Д. В. Баяндин, Е. В. Оспенникова).

Параллельно дискуссии о роли компьютерных симуляторов лабораторных экспериментов в учебном процессе велась их активная разработка.

К концу первого десятилетия 2000-х гг. такие симуляторы были созданы для целого ряда традиционных лабораторных экспериментов по физике и представлены в достаточно большом количестве вариаций в электронных учебных пособиях для средней школы, разработанных в рамках масштабного проекта «Информатизация системы образования» (2006–2010 гг) (Виртуальные работы по физике. 7–9 классы. «Новый диск», 2007; Лабораторные работы по физике. 7–11 класс. «Дрофа», ООО «Квазар», 2006; Физика. Интерактивные лабораторные работы, 7–11 класс. ООО «Физикон», 2007 и др.). Несмотря на достаточно упрощенный инструментально-технологический подход к созданию данных моделей они оказались весьма востребованными в учебном процессе. Как представляется, их привлекательность определялась, прежде всего, тем, что они были выполнены в соответствии с учебной программой по физике средней школы и включали базовые лабораторные задания. Являлась весьма простой система управления такими моделями. Использовался однозначный сценарий выполнения виртуального эксперимента, включающий небольшое число строго определенных этапов (действий). Визуальный ряд виртуальной учебной сцены находился в достаточном соответствии с образом реальной лабораторной установки. Интерфейс таких симуляций, как правило, обладал набором характеристик, которые с точки зрения теории компьютерной визуализации давали интегральный эффект, определяемый как малое *когнитивное расстояние*. Эта характеристика интерфейса является весьма важной для пользователя, поскольку измеряется его интеллектуальными усилиями по преобразованию действий и образов виртуального пространства в действия и объекты реальной исследуемой области. Уменьшение этого расстояния обеспечивается: 1) понятной для восприятия пользователем «*метафорой визуализации*» (ее образности, четкого фокуса, ясно предписываемых манипуляций с визуальными объектами); 2) «*диалоговой выразительностью*» (минимальным числом действий для получения результата); 3) «*однородностью интерфейса*» (степенью однообразия действий) [1, 2] Есть основание предполагать, что компьютерные модели лабораторных экспериментов в указанных выше электронных пособиях в значительной мере удовлетворяли этим условиям. Однако анализ их содержания и технологий реализации в виртуальной среде показывает, что они достаточно просты и ничем принципиально не отличаются по осваиваемым процедурам

от реальных лабораторных работ (знакомство с оборудованием для эксперимента, минимум экспериментальных манипуляций, предельно малый набор экспериментальных данных). Компьютерный эксперимент как метод познания при использовании таких моделей не предусмотрен. Это были простейшие *компьютерные симуляторы лабораторного эксперимента*, при этом с не всегда высоким дидактическим «выходом». Данные модели служили, как правило, средством наглядности, используемым учителем при объяснении материала, использовались для повторения и закрепления знаний и умений учащихся по конкретной теме школьного курса физики. В ряде случаев (... и не всегда обосновано) они применялись с целью «замещения» (или дублирования) традиционного лабораторного физического эксперимента. В связи с этим негативное отношение профессиональных физиков к таким симуляторам УФЭ является вполне понятным.

Более совершенные компьютерные модели УФЭ, построенные на сложных математических моделях физических явлений, далеко не всегда имели интерфейсы с оптимальным для учащихся *когнитивным расстоянием*. В ряде случаев трудности в работе с данными моделями и модельными конструкторами, испытывали даже учителя. При этом связанное с самой сутью этих моделей их методологическое назначение («производство» новых знаний и освоение компьютерного моделирования как метода познания в части выполнения компьютерного эксперимента с «готовой» моделью) являлось однозначно высоким.

В настоящее время цифровая образовательная среда наполнена в большей мере моделями учебного физического эксперимента вида УКСЛЭ и не всегда высокого качества. Модели вида УВЛЭ (УВНЭ) по массовости разработки и внедрения в учебный процесс по физике пока существенно отстают.

1.5. УЧЕБНЫЙ СИМУЛЯТОР ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «ОПЫТ ДЖОУЛЯ» (УКСЛЭ)

Создание полноценного симулятора УФЭ как дидактического средства, дополняющего его реальный прототип, должно быть обоснованным. Простое воспроизводство в виртуальной среде функционала традиционного лабораторного эксперимента не имеет особого смысла. Симуляторы УФЭ должны обладать рядом дидактических преимуществ перед своими физиче-

скими аналогами, т.е. расширять и обогащать опыт учащихся в выполнении таких экспериментов.

К проектированию симуляторов УФЭ предъявляются определенные требования. Компьютерная модель симулятора обеспечивает вычисление ее выходных параметров при заданных значениях входных данных. Расчеты отображаются в виде показаний измерительных приборов экспериментальной установки. Качественные результаты эксперимента могут быть представлены визуально в виде динамических процессов, характеризующих протекание исследуемого явления. Возможно динамическое графическое отображение изменений в образах исследуемых явлений, целесообразно применение динамических эффектов при предъявлении графиков, диаграмм, изолиний, характеризующих закономерности протекания изучаемого явления. Логика работы симулятора должна соответствовать логике работы учащихся с реальной экспериментальной установкой. Манипуляции с объектами модели следует строго соотносить с основными манипуляциями, характерными для работы на реальном экспериментальном оборудовании.

В работе с симулятором учащиеся «выявляют» закономерности протекания явления, точнее осваивают способ их обнаружения. При этом важно обеспечить изменение параметров исследуемого объекта в широком диапазоне. Должны выполняться фиксация и накопление результатов эксперимента в количестве, необходимом для их корректной систематизации и последующего обобщения. Это отличает компьютерный симулятор УФЭ от его реального лабораторного аналога, вариативность которого по исследуемым характеристикам и воспроизводимым условиям протекания явления обычно крайне мала. Следует иметь в виду, что численные характеристики явления, в том числе в граничных или критических точках его наблюдения, а также причинно-следственные связи моделируемых в виртуальной среде процессов могут быть заранее неизвестны учащимся. В этом случае компьютерная модель симулятора реализует свои *квазипрогностические функции* и полезна для имитации учебного экспериментального исследования.

Современный компьютерный симулятор УФЭ – это отчасти «оживший» учебник с элементами иммерсивной технологии имитации на модели проведения реального физического эксперимента. Для успешной работы учащихся с такой моделью ее интерфейс должен характеризоваться малым *когнитив-*

ным расстоянием (понятной метафорой визуализации, диалоговой выразительностью, однородностью интерфейса) [1, 2].

Компьютерный симулятор фундаментального физического эксперимента «Опыт Джоуля» (1847 г.) предназначен для изучения учащимися его цели, оборудования, порядка выполнения и основных результатов. Учебная сцена симулятора реализована в 3D-формате. В ее состав включены модель школьного кабинета физики и интерактивная модель экспериментальной установки (рис. 17, 18).



Рис. 17. Модель кабинета физики



Рис. 18. Модель экспериментальной установки опыта Дж. Джоуля

Симулятор включает комплекс дидактических материалов, обеспечивающих полноценное усвоение учебного материала и контроль результатов учебной деятельности. В состав материалов включены: 1) сведения из истории постановки физического эксперимента (иллюстрации, гипертекст); 2) теоретический материал (иллюстрации, гипертекст); 3) интерактивная модель эксперимента (3D-визуализация, элементы VR-технологии работы с моделью); 4) интерактивная рабочая тетрадь с инструктивными указаниями к выполнению эксперимента (текст, иллюстрации, интерактивные таблицы, автоматизированное формирование отчета по эксперименту, интерактивный текущий контроль); 5) видеоинструкция с аудио сопровождением (анимация действий пользователя с объектами модели); 6) образец отчета о выполнении опыта для самоконтроля (текст, иллюстрации); 7) интерактивный тест по оценке итоговых результатов работы учащихся (текст, иллюстрации); 8) блок управления (информация по технологии работы с объектами модели). Дидактические материалы представлены в виртуальном планшете, который реализован как отдельный 3D-объект и размещен на лабораторном столе рядом с моделью экспериментальной установки (рис. 20–21).



Рис. 19. Оборудование к опыту



Рис. 20. Виртуальный планшет

В процессе работы с симулятором учащиеся не только знакомятся с историей постановки и содержанием фундаментального физического эксперимента, но и имеют возможность самостоятельно провести данный эксперимент в его виртуальной версии. При выполнении эксперимента используются

игровые технологии управления персонажем и объектами виртуальной учебной сцены. Пользователь имеет возможность передвигаться по классу, подходить к любому размещенному в нем объекту, управлять в квазиреалистичном режиме объектами учебной сцены (перемещать, удалять, изменять и т.п.). Блок «Управление» включает необходимую для выполнения виртуального эксперимента информацию (технологии управления персонажем, реализации действий пользователя с объектами модели и активации всплывающих подсказок).



Рис. 21. Меню учебного модуля в виртуальном планшете

Учащиеся имеют возможность выполнить модельный эксперимент, следуя инструкции, которая разработана в соответствии с обобщенным планом выполнения физического эксперимента [104, с. 649]. В процессе работы с моделью у учащихся формируются навыки экспериментального исследования, отрабатываются отдельные экспериментальные действия (элементы сборки установки, планирование и реализация последовательности проведения эксперимента, снятие показаний с приборов, выполнение расчетов, заполнение таблиц, анализ результатов опыта и формулировка выводов). Реализованы текущий контроль ввода данных эксперимента в таблицы и проверка расчетов искомых значений физических величин, самоконтроль итоговых результатов выполнения эксперимента, а также контроль качества усвоения учащимися содержания учебного материала. Ниже приведена инструкция к работе с моделью.



КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «ОПЫТ ДЖ. ДЖОУЛЯ»

Инструктивные указания к работе

Анализ модели

Рассмотрите составляющие модели физического эксперимента «Опыт Дж. Джоуля» (рис. 1).

В активном окне модели изображены:

- калориметр разборный;
- стержень с лопастями;
- термометр электрический;
- блок малый;
- блок большой – 2 шт.;
- груз 5 кг – 2 шт.;
- груз 10 кг – 2 шт.;
- метр демонстрационный – 2 шт.;
- стол подъемный (рис. 2).

Интерактивными элементами установки являются:

- калориметр разборный;
- термометр электрический;
- рукоятка малого блока;
- грузы;
- стол подъемный.

Взаимодействие с объектами модели:

- сборка и перемещение калориметра;
- перемещение грузов;
- включение/выключение термометра;
- восстановление начальной (*комнатной*) температуры жидкости;
- замена жидкости в калориметре;
- снятие рукоятки малого блока с фиксатора (*для запуска движения грузов*);
- вращение рукоятки малого блока для возвращения грузов в исходное положение;
- изменение высоты подъемного стола.

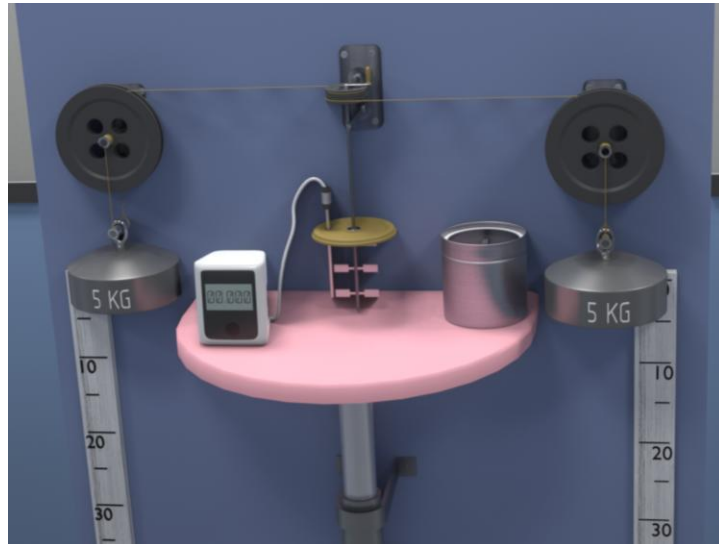


Рис. 1. Экспериментальная установка

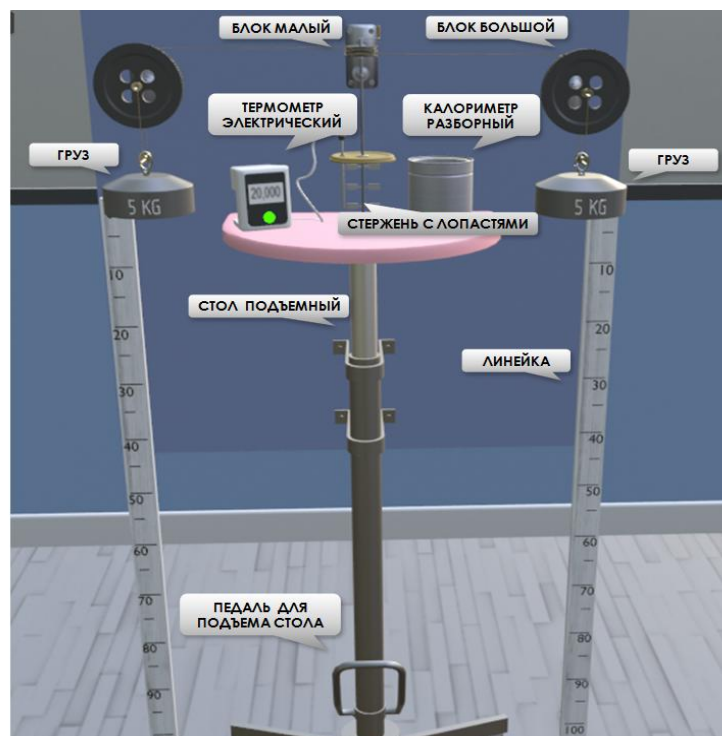


Рис. 2. Оборудование к эксперименту

Планирование и выполнение работы

Цели эксперимента: изучение и освоение на модели способа определения механического эквивалента теплоты (реконструкция опыта Дж. Джоуля);

Оборудование: калориметр разборный; термометр электрический; блок малый; блок большой – 2 шт.; стержень с лопастями; нити; груз 5 кг – 2 шт.;

груз 10 кг – 2 шт.; метр демонстрационный – 2 шт.; стол подъёмный; жидкости (вода, спирт, масло машинное).

Идея эксперимента

Для определения механического эквивалента теплоты Дж. Джоуль сконструировал экспериментальную установку, модель которой приведена на рисунках 1 и 2. Принципиальная схема этой установки показана на рисунке 3.

При падении грузов массой m_2 с высоты h их потенциальная энергия превращается в кинетическую энергию вращения стержня с лопатками, вставленного в калориметр, и в кинетическую энергию грузов.

Благодаря использованию в установке системы блоков разного диаметра скорость вращения стержня с лопатками весьма велика, а скорость падения грузов мала. Тем не менее величина их кинетической энергии в конце движения имеет вполне определенное значение. Важно отметить, что Дж. Джоуль стремился к высокой точности проведения эксперимента и при выполнении расчетов учитывал кинетическую энергию гирь в нижней точке их движения.

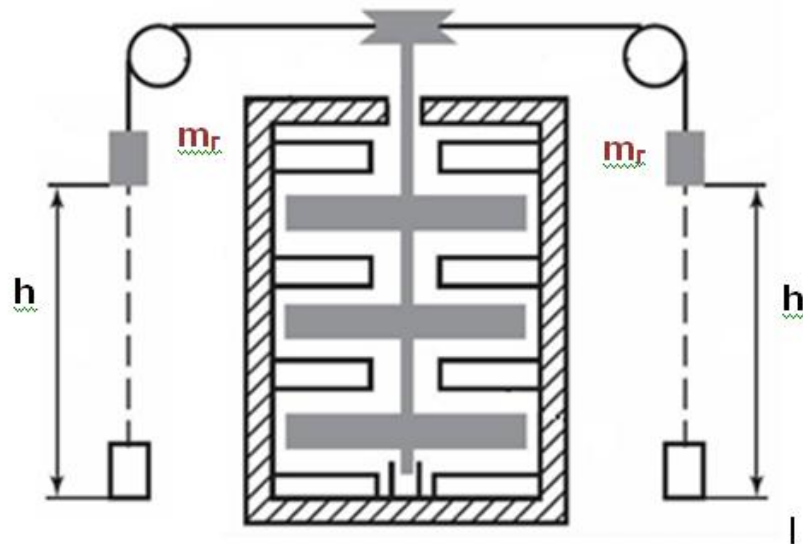


Рис. 3. Схема опыта Дж. Джоуля

В результате трения лопаток о воду и трения между слоями воды происходит ее нагревание. Внутренняя энергия воды увеличивается. Однако нагревается не только вода, но и стержень с лопатками, поэтому в своем опыте Дж. Джоуль при вычислении механического эквивалента теплоты учитывал количество тепловой энергии, которое шло на нагревание стержня и лопаток.

В данном виртуальном эксперименте для простоты расчетов величиной кинетической энергии грузов в силу ее малой величины в нижней точке их движения мы пренебрежем. Не будем учитывать и ту сравнительно небольшую долю тепла, которая идет на нагревание стржня с лопатками.

Итак, потенциальная энергия падения грузов превращается в тепловую энергию: *меняется внутренняя энергия воды*. Величину этой энергии можно рассчитать по формуле:

$$Q = c_e m_e (t_2 - t_1),$$

где c – удельная теплоёмкость воды (1 кал/г °С), t_2 и t_1 – конечная и начальная температуры воды.

Мерой изменения механической энергии грузов (превращения ее в тепловую энергию) является совершенная гравитационными силами работа:

$$Q = A.$$

Величина этой работы рассчитывается по формуле:

$$A = Mgh,$$

где h – высота, с которой падают грузы; $M = 2 m_r$ – общая масса падающих грузов.

Высоту падения грузов можно менять. Однако для этого необязательно поднимать грузы выше. Дж. Джоуль предложил более простой способ. Он производил падение грузов с одной и той же высоты, но повторял это многократно. В этом случае итоговая высота H , с которой падали грузы, рассчитывалась по формуле:

$$H = n \cdot h ,$$

где h – высота крепления грузов над полом (см. рис.2), а n – число их падений с данной высоты; H – итоговая высота падения грузов.

Опыт проводился с разными жидкостями, а также менялись массы и высота падения грузов. В результате серии опытов было установлено, что между затраченной работой A и количеством полученной жидкостью теплоты Q существует прямо пропорциональная зависимость:

$$A = IQ.$$

Коэффициент пропорциональности I остается при этом *величиной постоянной* и равным отношению:

$$I = \frac{A}{Q},$$

$$\text{т. е. } I = \frac{2m_c g n h}{c_e m_e (t_2 - t_1)}.$$

Если величину работы определять в Дж, а количество теплоты рассчитывать в калориях (как это было во времена Дж. Джоуля), то коэффициент пропорциональности I будет равен 4,185 Дж/кал.

Данный коэффициент получил название *механического эквивалента теплоты*. Опытным путем было установлено, что при совершении механической работы в 4,185 Дж можно получить 1 калорию теплоты.

Обратная величина $1/I$ называется *тепловым (или термическим) эквивалентом работы*. Это значит, что, затрачивая $1/4,185 = 0,239$ кал тепла, можно совершить работу в 1 Дж.

Итак, в опыте Дж. Джоуля было установлено соотношение единиц измерения теплоты и работы:

$$1 \text{ кал} \approx 4,185 \text{ Дж}.$$

В Международной системе единиц *механический эквивалент тепла равен единице*, так как в этой системе как для механической работы, так и для количества теплоты принята одна и та же единица измерения – Джоуль.

Из опыта Дж. Джоуля был сделан важный вывод: *теплота есть форма энергии, которая может производиться из механической работы, или наоборот превращаться в работу*.

В справедливости результатов, полученных Дж. Джоулем, можно убедиться в ходе натурального эксперимента.

Модель опыта Дж. Джоуля может быть реализована в виртуальной среде. Инструктивные указания к выполнению данного модельного эксперимента приведены ниже.

4. Далее следует задать высоту H , с которой грузы будут падать, например, $H = 10$ м. Для обеспечения такой высоты падения грузов, надо «заставить» их упасть с высоты $h = 1$ м десять раз. Число падений указывается в первом столбце таблицы и обозначается буквой n .
5. Приведите грузы в движение. Для этого нажмите на рукоятку малого блока. Блок будет снят с фиксатора, а грузы начнут медленно двигаться вниз. Стержень с лопатками будет при этом быстро вращаться в воде. Температура воды в калориметре начнет повышаться.

Для высоты $H = 10$ м необходимо обеспечить 10-кратное падение грузов с высоты h . С этой целью после завершения каждого падения грузы следует возвращать в исходное положение нажатием на рукоятку малого блока. Повторное нажатие на рукоятку вновь приведет к падению грузов.

6. Зафиксируйте значение температуры воды t_2 в калориметре по окончании 10-го падения грузов. Внесите данные в *таблицу 1*.

Рассчитайте механическую работу, которая была совершена при падении грузов:

$$A = 2m_2 g n h$$

Значение ускорения свободного падения g примите равным ($9,8 \text{ м/с}^2$).

Вычислите количество теплоты, которое при этом получила вода:

$$Q = c_6 m_6 (t_2 - t_1)$$

Округлите полученное значение Q с *точностью до целого*.

Определите значение механического эквивалента теплоты:

$$I = \frac{A}{Q}$$

Округлите полученное значение I с *точностью до сотых долей единицы*.

Результаты расчетов занесите в *таблицу 1*.

7. Верните систему в исходное состояние. Для возвращения грузов на прежнюю высоту надо нажать на *рукоятку малого блока*. Для восстановления

исходной (комнатной) температуры воды нажмите на *внешний цилиндр калориметра*.

Повторите опыт для высоты $H = 20$ м. Проведите аналогичные измерения и расчеты. Данные внесите в *таблицу 1*.

8. Вновь верните систему в исходное состояние (нажмите на рукоятку малого блока и далее на внешний цилиндр калориметра).

Замените грузы массой 5 кг на грузы массой 10 кг и проведите еще две серии опытов для высот 10 и 20 метров. Данные занесите в *таблицу 1*.

9. Замените жидкость в калориметре двойным нажатием на внешний цилиндр калориметра. Используйте для эксперимента *спирт*. Массу грузов и высоту их падения оставьте теми же: $m_r = 10$ кг, $H = 10$ м. Проведите аналогичные измерения и расчеты. Данные внесите в *таблицу 2*.

10. Верните систему в исходное состояние и вновь поменяйте жидкость в калориметре. Повторите опыт с машинным маслом для $m_r = 10$ кг и $H = 10$ м. Проведите измерения и расчеты. Округление величин совершенной работы и количества теплоты производите с точностью до *целого значения*. Данные внесите в *таблицу 2*.

Таблица 2

Определение механического эквивалента теплоты

№ пп	n	m_r , кг	H, м	A, Дж	$m_{ж.}$, кг	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	Q, кал	I, Дж/кал
$h = 1$ м, жидкость: вода , $c_v = 1000$ кал/кг $^\circ\text{C}$									
1	10								
$h = 1$ м, жидкость: спирт , $c_v = 590$ кал/кг $^\circ\text{C}$									
2	10								
$h = 1$ м, жидкость: машинное масло , $c_v = 400$ кал/кг $^\circ\text{C}$									
3	10								

11. По данным таблицы 2 рассчитайте механический эквивалент теплоты, задав значение удельной теплоемкости исследуемых жидкостей не в кал/кг $^\circ\text{C}$, а в Дж/кг $^\circ\text{C}$, т.е. в Международной системе единиц, а именно:

$$C_{\text{воды}} = 4185 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C},$$

$$C_{\text{спирта}} = 2470 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}$$

$$C_{\text{масл. масла}} = 1670 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}$$

$$I_e = \frac{2m_2 g n h}{c_e m_e (t_2 - t_1)} = \boxed{}$$

$$I_c = \frac{2m_2 g n h}{c_c m_c (t_2 - t_1)} = \boxed{}$$

$$I_M = \frac{2m_2 g n h}{c_M m_M (t_2 - t_1)} = \boxed{}$$

Расчеты проведите с точностью *до сотых долей единицы*. Убедитесь, что во всех случаях величина механического эквивалента теплоты в этом случае будет равна примерно единице.

12. Проанализируйте полученные результаты и сформулируйте выводы по опыту:

- какой факт на количественном уровне установлен в опыте Дж. Джоуля?
- чему равно по данным виртуального эксперимента значение механического эквивалента теплоты? зависит ли значение механического эквивалента теплоты от рода жидкости? в чем состоит физический смысл этой величины?
- каким по данным опыта получилось значение механического эквивалента теплоты при использовании в расчетах Международной системы единиц (СИ)? как для данного значения механического эквивалента теплоты может быть определен его физический смысл?

Выводы

Текст, вводимый учащимся

Проверить

Включить данные в отчет

Верно! Неверно!

Используемые источники

1. Перышкин А.В. Физика. 8 кл.: Учебник для общеобразоват. учеб. заведений. – М.: Дрофа, 2001. – 192 с.
2. Теплота, температура и механический эквивалент теплоты [Электронный ресурс]. – URL: <https://helpiks.org/1-127195.html>

ОТЧЕТ

о выполнении эксперимента

(формируется автоматически)

Цели эксперимента: изучение и освоение на модели способа определения механического эквивалента теплоты (реконструкция опыта Дж. Джоуля);

Оборудование: калориметр разборный; термометр электрический; блок малый; блок большой – 2 шт.; стержень с лопастями; нити; груз 5 кг – 2 шт.; груз 10 кг – 2 шт.; метр демонстрационный – 2 шт.; стол подъёмный; жидкости (вода, спирт, масло машинное).

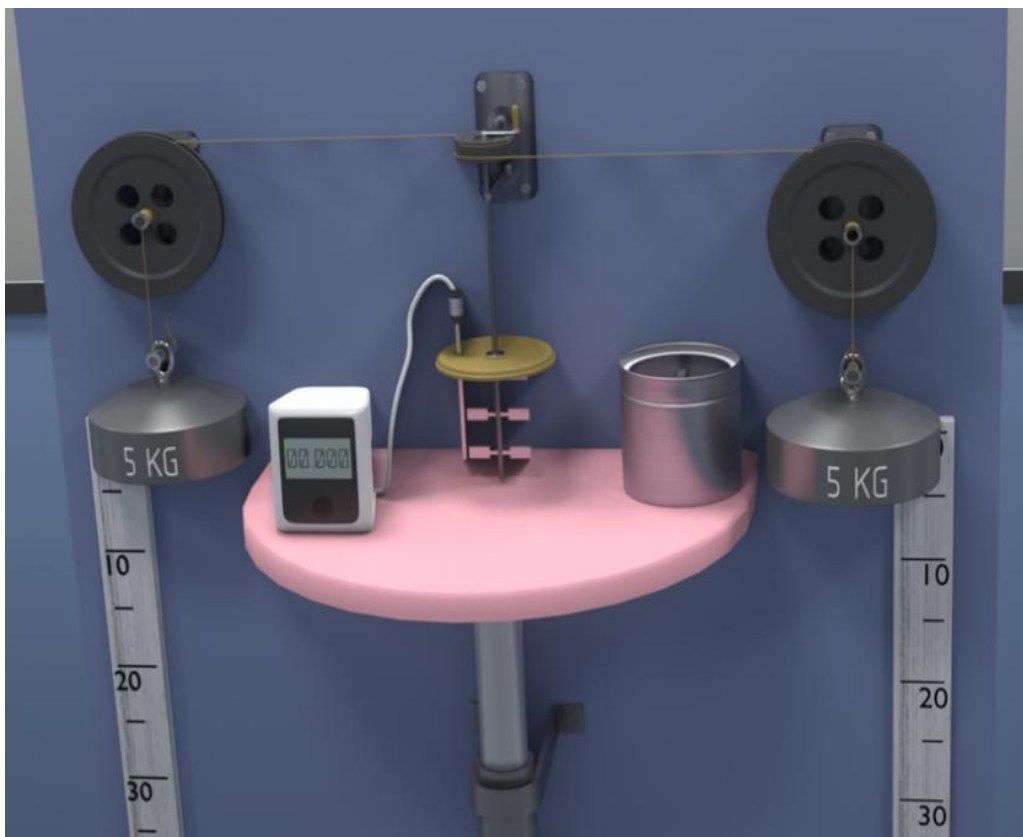


Рис.1. Модель физического эксперимента «Опыт Дж.Джоуля»

Результаты эксперимента

Таблица 1

Определение механического эквивалента теплоты

h = 1 м, жидкость: вода, c_в = 1000 кал/кг °С

№ пп	n	m, кг	H, м	A, Дж	m _в , кг	t ₁ , °С	t ₂ , °С	Q, кал	I, Дж/кал
1									
2									
3									
4									

Таблица 2

Определение механического эквивалента теплоты

h = 1 м, жидкость: вода, c_в = 1000 кал/кг °С

№ пп	n	m _г , кг	H, м	A, Дж	m _в , кг	t ₁ , °С	t ₂ , °С	Q, кал	I, Дж/кал
1									

h = 1 м, жидкость: спирт, c_с = 590 кал/кг °С

1									
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

h = 1 м, жидкость: машинное масло, c_м = 400 кал/кг °С

2									
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

РАСЧЕТ

механического эквивалента теплоты
в Международной системе единиц

$$C_{\text{воды}} = 4185 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{С},$$

$$C_{\text{спирта}} = 2470 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{С}$$

$$C_{\text{маш. масла}} = 1670 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{С}$$

$$I_{\text{в}} = \frac{2m_2 g n h}{c_{\text{в}} m_{\text{в}} (t_2 - t_1)} = \boxed{}$$

$$I_{\text{с}} = \frac{2m_2 g n h}{c_{\text{с}} m_{\text{с}} (t_2 - t_1)} = \boxed{}$$

$$I_{\text{м}} = \frac{2m_2 g n h}{c_{\text{м}} m_{\text{м}} (t_2 - t_1)} = \boxed{}$$

Выводы

Текст, введенный учащимся

Проект симулятора УФЭ и интерактивные дидактические материалы сопровождения подготовлены студенткой физического факультета ПГГПУ Т. А. Яковкиной. По материалам проекта подготовлена и опубликована в статье [13].

1.6. КОМПЬЮТЕРНАЯ СИМУЛЯЦИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА» (УВЛЭ)

1. Режим компьютерного симулятора УФЭ

Самостоятельная работа учащихся с симулятором направлена на изучение на модели способа экспериментальной проверки закона Джоуля-Ленца. Учебная деятельность обеспечивается комплектом цифровых интерактивных дидактических материалов, включающих изложение вопросов теории, инструктивные указания к работе и тест для самоконтроля. Инструктивные указания к работе с симулятором УФЭ составляются в соответствии с обобщенным планом физического эксперимента [104, с. 649]. К инструкции прилагается информация об управлении интерактивной моделью. Данная информация представлена отдельным текстовым документом в составе цифровых дидактических материалов, а также выводится на экран поэлементно в виде всплывающих подсказок при наведении курсора на интерактивный объект модели. Текст подсказки включает указание на возможное действие (я) с объектом и технологию его выполнения. Ниже приведена инструкция к работе с симулятором.

Учебный виртуальный лабораторный эксперимент «Закон Джоуля-Ленца»

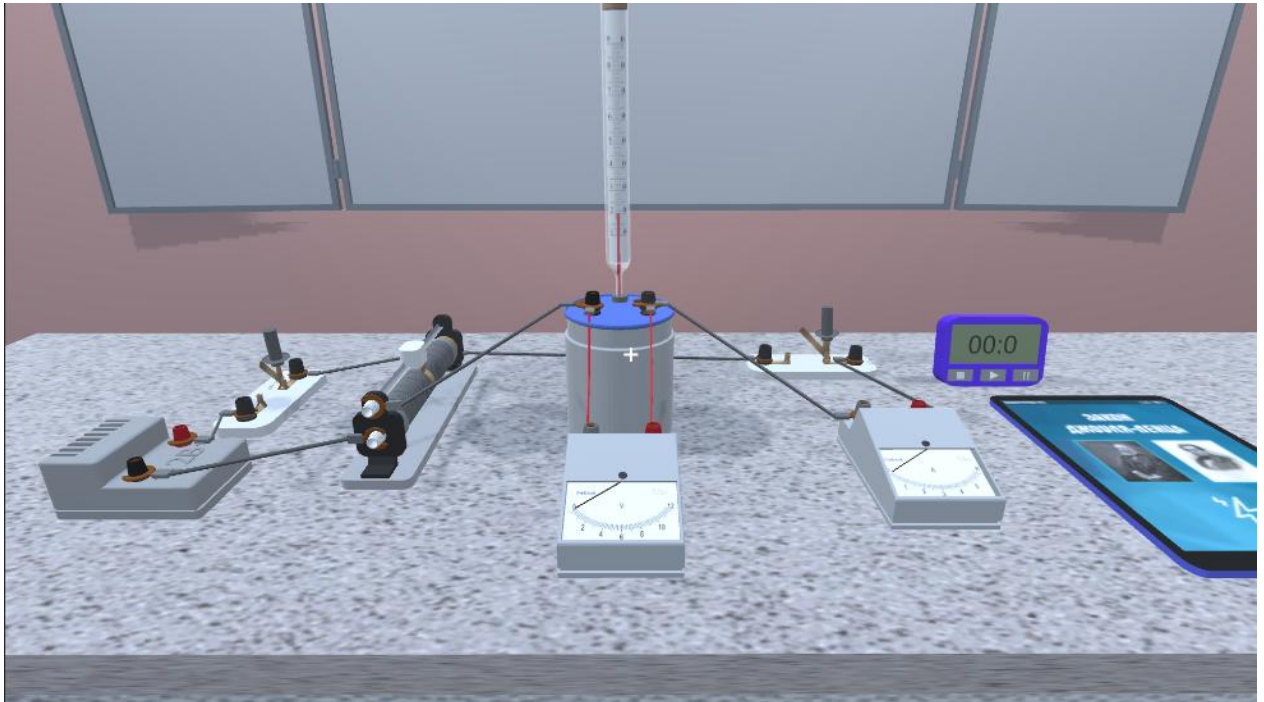
Инструктивные указания к работе

Анализ модели

Рассмотрите составляющие модели лабораторного физического эксперимента «Закон Джоуля-Ленца» (рис. 1).

В активном окне модели представлены:

- калориметр;
- жидкость 200 мл (вода, машинное масло);
- нагревательный элемент (6 Ом)
- термометр спиртовой (0 – 90 °С);
- секундомер электронный;
- источник тока (12 В);
- амперметр (6 А);
- вольтметр (12 В);
- реостат (6 Ом);
- ключ электрический (2 шт.);
- провода соединительные (рис. 2).



*Рис.1. Компьютерная модель (УВЛЭ) физического эксперимента
«Закон Джоуля-Ленца»*

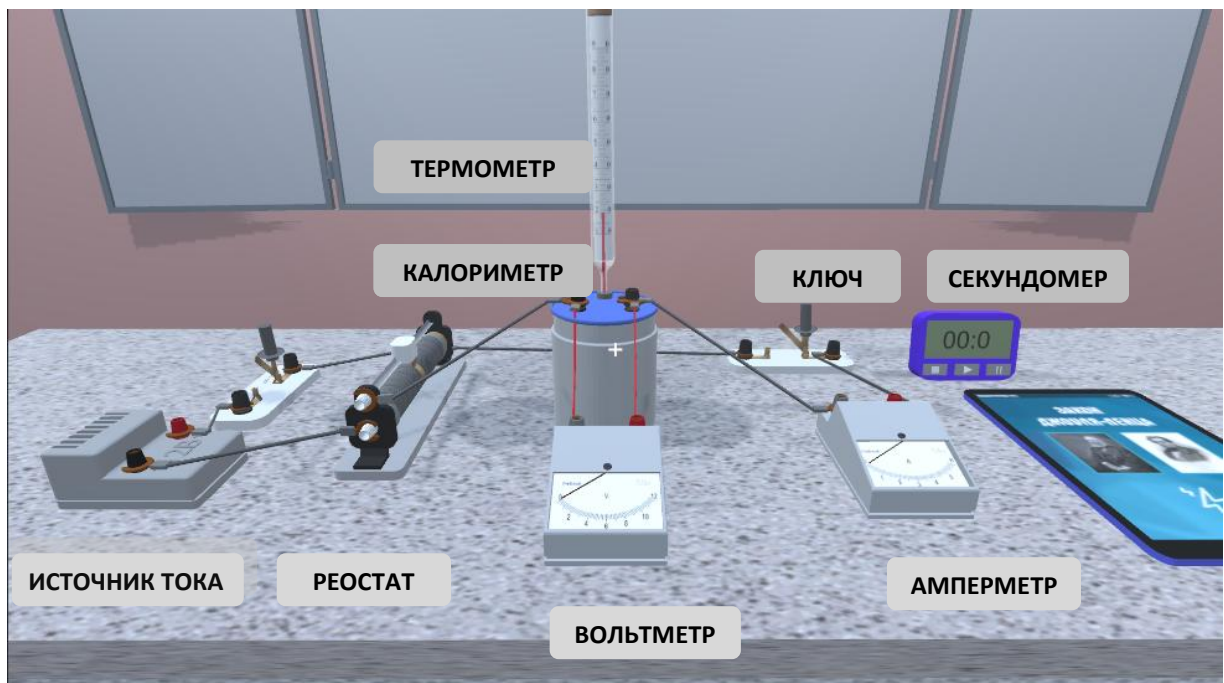
Интерактивными элементами установки являются:

- калориметр,
- нагревательный элемент
- термометр,
- секундомер,

- амперметр,
- вольтметр,
- ключ,
- реостат,
- провода соединительные.

Взаимодействие с объектами модели:

- сборка калориметра;
- замена жидкости в калориметре;
- подсоединение проводов;
- замыкание/размыкание ключа;
- перемещение ползунка реостата;
- работа с секундомером: старт, пауза, сброс;
- работа с планшетом.



*Рис.2. Оборудование физического эксперимента
«Опыт Дж. Джоуля»*

Планирование и выполнение работы

Цели эксперимента: 1) изучение и освоение на модели способа экспериментальной проверки. закона Джоуля-Ленца.

Оборудование: калориметр; жидкость 200 г (*машинное масло, спирт, вода*); нагревательный элемент (6 Ом); термометр спиртовой (0 – 90 °С); секундомер электронный; источник тока (12 В); амперметр (6 А); вольтметр (12 В); реостат (6 Ом); ключ электрический (2 шт.); провода соединительные.

Идея эксперимента

Тепло, которое выделяется в проводнике при прохождении по нему электрического тока, есть следствие совершаемой электрическим полем работы по перемещению заряженных частиц.

Согласно закону Джоуля-Ленца количество теплоты, выделяемое проводником с током, равно произведению силы тока, напряжения на проводнике и времени прохождения тока по проводнику:

$$Q = I U \Delta t.$$

Закон справедлив, если на исследуемом участке цепи не совершается механическая работа и не происходят химические превращения вещества.

Количество выделенного тепла можно измерить, если проводник, по которому протекает электрический ток, использовать как нагревательный элемент. Для этого проводник опускают в жидкость. По изменению температуры жидкости можно определить величину выделенного проводником тепла:

$$Q_1 = c_{жс} m_{жс} (t_2 - t_1),$$

Кроме жидкости нагревается внутренний стакан калориметра. Это количество теплоты тоже необходимо учесть в эксперименте:

$$Q_2 = c_k m_k (t_2 - t_1),$$

Для того, чтобы убедиться в справедливости закона Джоуля-Ленца необходимо проверить выполнение следующего равенства:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

где Q – количество теплоты, выделяемое проводником; Q_1 – количество теплоты, которое пошло на нагревание жидкости; Q_2 – количество теплоты, переданное внутреннему стакану калориметра.

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рисунке 2.

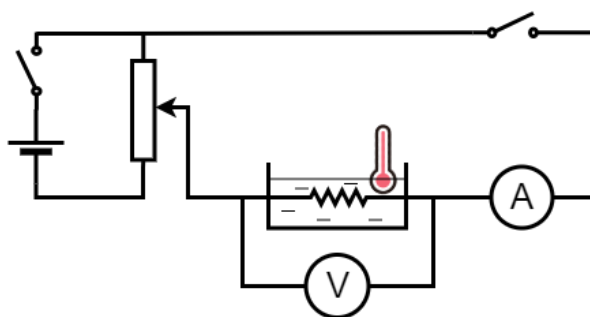


Рис. 2. Схема электрической цепи

Способ проверки закона Джоуля-Ленца может быть изучен в процессе выполнения физического эксперимента на его компьютерном симуляторе.

Ход работы

1. Рассмотрите модель экспериментальной установки (рис.1). Познакомьтесь с инструментами управления ее элементами (см. раздел меню **Управление**).
2. В начале опыта выполните сборку калориметра. Поместите в калориметр нагревательный элемент и вставьте термометр в отверстие на крышке калориметра. Обратите внимание на то, какая жидкость налита в калориметр (*замена жидкости в калориметре выполняется в один клик левой кнопкой мыши на его корпусе*). Объем жидкости 200 г.
3. Соберите электрическую цепь экспериментальной установки в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2. Соблюдайте полярность подключения электроизмерительных приборов (амперметра, вольтметра). Реостат введите полностью, при этом напряжение на нагревательном элементе будет равно 12 В.
4. Измерьте начальную температуру жидкости t_1 . Эту же температуру будет иметь и внутренний *алюминиевый* стакан калориметра. Масса этого стакана составляет 40 г. Внесите значения масс жидкости и калориметра, их удельные теплоемкости и начальную температуру в *таблицу 1*.
5. Замкните цепь. Одновременно с замыканием ключа автоматически включается секундомер. Измерьте силу тока и напряжение на нагревательном элементе. Когда температура воды в калориметре достигнет 30°C , выключите секундомер и разомкните цепь. Результаты измерений занесите в *таблицы 1 и 2*.

Таблица 1

**Расчет количества теплоты, необходимого для нагревания
жидкости и внутреннего стакана калориметра**

$$c_m = \boxed{1700} \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}, c_c = \boxed{2500} \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}, c_b = \boxed{4200} \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}, c_a = \boxed{920} \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C},$$

№ пп	$m_{ж}$, кг	$m_{к}$, кг	t_1 , $^\circ\text{C}$	t_2 , $^\circ\text{C}$	Q_1 , Дж	Q_2 , Дж	$Q_1 + Q_2$, Дж
1							
2							
3							

Таблица 2

Расчет количества теплоты, выделенного током

№ пп	I, А	U, В	t		t, с	Q, Дж
			мин	с		
1						
2						
3						

6. Рассчитайте количество теплоты, которое пошло на нагревание воды (Q_1) и внутреннего стакана калориметра (Q_2), а также выделилось при нагревании проводника при прохождении по нему тока (Q). Произведите округление результатов вычисления до целых значений и внесите полученные данные в *таблицы 1 и 2*.

Сравните количество теплоты, необходимое для нагревания воды и внутреннего стакана калориметра ($Q_1 + Q_2$), и количество теплоты (Q), которое согласно закону Джоуля-Ленца должно выделиться при прохождении тока по проводнику.

7. Повторите эксперимент с этой же жидкостью при другом напряжении на нагревательном элементе. Для этого ползунок реостата установите в середине его обмотки. Сопротивление рабочей части реостата составит при этом 3 Ом. Произведите нагрев воды до 25°C . Результаты измерений и расчетов внесите в *таблицы 1 и 2*.
8. Повторите эксперимент с машинным маслом такой же массы. Напряжение на нагревательном элементе оставьте прежним, т.е. проведите опыт

при сопротивлении рабочей части реостата 3 Ом. Нагрев масла произведите до 25 °С. Полученные результаты внесите в *таблицы 1 и 2*.

9. При необходимости можно повторить эксперимент при иных значениях параметров модели. Диапазоны изменения параметров: 1) три исследуемые жидкости: машинное масло ($c_m = 1700$ Дж/кг °С), спирт ($c_m = 2500$ Дж/кг °С), вода ($c_b = 4200$ Дж/кг °С); 2) масса жидкости в калориметре: от 70 до 200 г с шагом 10 г; 3) сопротивление рабочей части реостата: от 1 до 6 Ом, с шагом в 1 Ом; 4) температура нагрева: от 20 до 30 °С с шагом в 1 °С.
10. Выполните анализ данных, представленных в *таблицах 1 и 2*.
11. Сформулируйте вывод по результатам эксперимента.

Выводы

Текст, вводимый учащимся

Проверить

Включить данные в отчет

Верно! Неверно!

Отчет о выполнении эксперимента формируется автоматически по мере заполнения рабочей тетради. По результатам проверки отчета в его содержание могут быть внесены исправления. При необходимости отдельные этапы эксперимента с целью исправления ошибок можно выполнить заново. После включения результатов в отчет внесение исправлений будет недоступным. При этом имеется возможность сравнить итоговую версию отчета в порядке самопроверки с его образцом.

Используемые источники

1. Белага В. В., Ломаченков И. А., Панебратцев Ю. А. Физика. 8 класс.– 5 изд.– М.: Просвещение, 2017. – 159 с.
2. Гленденштейн Л. Э. Физика. 8 класс. – 5 изд. – М.: Мнемозина, 2012. – 272 с.
3. Перышкин А.В. Физика. 8 кл.: Учеб. для общеобразоват. учеб. заведений. – М.: Дрофа, 2001. – 192 с.

4. Теплота, температура и механический эквивалент теплоты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/1-127195.html> (дата обращения: 30.09.2019).
5. Закон Джоуля-Ленца: его формулировка и применение // Сам электрик – Режим доступа: <https://samelectrik.ru/zakon-dzhoulya-lenca-ego-formulirovka-i-primene-nie.html> (дата обращения: 30.09.2022).

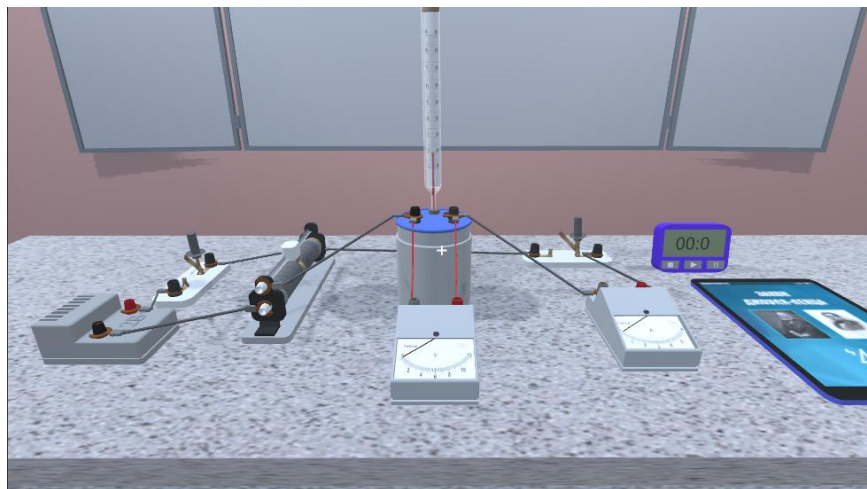
ОТЧЕТ

о выполнении эксперимента

(образец для самоконтроля)

Цели эксперимента: изучение и освоение на модели способа экспериментальной проверки закона Джоуля-Ленца.

Оборудование: калориметр; жидкость 200 г (вода, машинное масло); нагревательный элемент (6 Ом); термометр спиртовой (0 – 90 °С); секундомер электронный; источник тока (12 В); амперметр (6 А); вольтметр (12 В); реостат (6 Ом); ключ электрический (2 шт); провода соединительные.



*Рис.1. Компьютерная модель физического эксперимента
«Закон Джоуля-Ленца»*

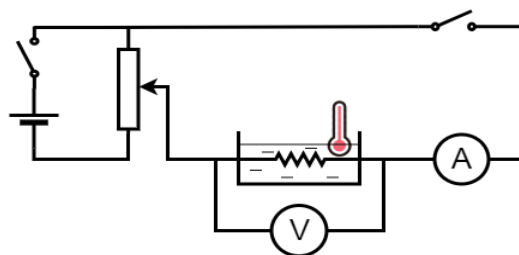


Рис. 2. Схема электрической цепи

Таблица 1

**Расчет количества теплоты, необходимого для нагревания
жидкости и внутреннего стакана калориметра**

$$c_m = 1700 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}, c_c = 2500 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}, c_b = 4200 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}, c_a = 920 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C},$$

№ ПП	$m_{ж}$, кг	$m_{к}$, кг	t_1 , °С	t_2 , °С	Q_1 , Дж	Q_2 , Дж	$Q_1 + Q_2$, Дж
1	0,2	0,04	20	30	8400	368	8768
2	0,2	0,04	20	25	4200	184	4384
3	0,2	0,04	20	25	1700	184	1884

Таблица 2

Расчет количества теплоты, выделенного проводником с током

№ ПП	I, А	U, В	t		t, с	Q, Дж
			мин	с		
1	2	12	6	5	365	8760
2	0,8	4,8	19	2	1142	4385
3	0,8	4,8	8	11	491	1885

Вывод

Количество теплоты, выделяемое проводником с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения тока по проводнику:

$$Q = I U t$$

Основу математической модели симулятора составляет система уравнений, имеющих аналитическое решение. Модель обеспечивает достаточную вариативность параметров установки и исследуемых на ней физических процессов, что позволяет учащимся получить необходимый объем экспериментальных данных для их последующей систематизации и обобщения. При выполнении данного эксперимента в условиях школьной лаборатории такой уровень вариативности, как правило, не реализуется.

Особенность разработки модели данного симулятора составляет реализация регулировки напряжения, подаваемого на нагреватель. Изменение падения напряжения на нагревателе U осуществляется реостатом сопротивлением $R_0 = 6$ Ом, включенным в цепь в режиме потенциометра (рис. 1,2). Сопротивление рабочей части реостата R_1 определяется только длиной включенной в цепь его обмотки l . Задается шаг изменения длины рабочей части обмотки Δl . Математическое выражение для R_1 в этом случае может быть записано в виде:

$$R_1 = 6 \cdot \frac{N_1 \Delta l}{l}, \quad (8)$$

где l – длина обмотки реостата, Δl – шаг изменения длины съемного плеча делителя (рабочей части обмотки реостата), N_1 – число шагов. Соответственно R_2 будет определяться выражением:

$$R_2 = 6 \cdot \frac{N_2 \Delta l}{l}, \quad (9)$$

При этом $N_2 = N - N_1$, где N – максимальное число шагов. Число шагов может быть любым. В работе модели программно предусмотрено $N = 6$. Это значит, что движок реостата, включенного в цепь в режиме делителя напряжения, можно перемещать с программно заданным шагом в 1 Ом. Соответственно пошагово меняется напряжение на нагревателе и сила тока в его нагревательном элементе

Величина выходного напряжения потенциометра с нагрузкой определяется выражением:

$$U = U_0 \frac{R_1 R_H}{R_1 R_H + R_2 R_H + R_1 R_2}, \quad (9)$$

где U – напряжение на нагревателе, U_0 – величина входного напряжения, R_1 – сопротивление рабочей части реостата (съемное плечо делителя), R_2 – сопротивление нерабочей части (гасящее плечо делителя), R_H – сопротивление нагревателя.

В соответствии расчетными значениями U и I отклоняются стрелки амперметра и вольтметра. В ряде случаев стрелка может остановиться в промежутке между делениями. Работая с симулятором, учащиеся снимают показания с виртуальных приборов в соответствии с правилами работы с реальным измерительным оборудованием. При снятии показаний определяется по-

грешность отсчета. Может быть дана оценка и инструментальной погрешности приборов. Для этого учителю следует предоставить учащимся информацию о значении этой погрешности. При наличии данных о точности прямых и косвенных измерений появляется возможность сравнивать не только «измеренные» на симуляторе величины количества теплоты (затраченного на нагревание жидкости, выделенного проводником с током), но и числовые интервалы, в которых находятся их «истинные» значения. Отработка измерительных умений на симуляторе УФЭ будет весьма полезна учащимся перед выполнением физического эксперимента в школьной лаборатории.

В виртуальном эксперименте симулятора используется 3 жидкости, массу которых можно менять (70, 100 и 200 г). Доступные температурные интервалы для нагревания составляют 5 и 10°С. Возможно изменение напряжения на нагревателе (до 6 раз). Указанных вариаций параметров модели вполне достаточно для проведения достаточного числа однотипных экспериментов и освоения на этой основе способа экспериментальной проверки закона Джоуля-Ленца.

2. Режим компьютерного эксперимента. Данный режим отличается принципиально иной целью учебной работы. Это может быть *исследование* нового явления или *прогнозирование* особенностей протекания ранее изученного в интересующих экспериментатора условиях. Представляет интерес в ходе моделирования и задача оптимизации. В случае использования компьютерной модели УФЭ может быть поставлена задача определения оптимального режима выполнения экспериментального лабораторного исследования. При проектировании компьютерного, как правило, имеет место совмещение решения двух последних задач.

Рассмотрим содержание КЭ для решения задачи поиска оптимального режима проведения лабораторного эксперимента по проверке закона Джоуля-Ленца, организуемого в рамках школьного физического практикума. Как известно, исторически данный закон имеет существенно экспериментальное «происхождение». Однако в школьной практике этот закон выводится аналитически как следствие закона сохранения энергии при ее взаимопревращениях и представлений о работе как мере этих преобразований. Справедливость полученного таким образом математического выражения закона Джоуля-

Ленца проверяется далее учащимися в лабораторном физическом эксперименте.

Подготовка лабораторной работы, в особенности предназначенной для исследования школьниками тепловых явлений, связана не только с отбором оборудования и настройкой экспериментальной установки, но и с поиском наиболее рациональных для учебного процесса режимов ее работы. Это требует от учителя значительных затрат времени.

Задача определения наилучшего режима выполнения эксперимента на заданном оборудовании может быть поставлена и перед учащимися. Компьютерное моделирование как средство ее решения обеспечивает значительное сокращение времени на поиск этого режима. Для решения этой задачи учащимися может быть использована «готовая» компьютерная модель. Ниже приведено описание основных этапов подготовки и выполнения компьютерного эксперимента в соответствии обобщенным планом работы учащихся с «готовой» компьютерной моделью, представленном в п. 1.3.2 (с. 65–66, вариант 2). Отметим, что каждый этап этого плана может быть организован учителем по-разному: в виде демонстрации образца учебной деятельности; с применением проблемного изложения или проблемной беседы; на основе организации самостоятельной работы школьников с консультативной поддержкой учителя; в опоре на обобщенный план работы с моделью данного вида (оптимизационной) или с использованием подробной инструкции.

1. Анализ проблемы и постановка задачи исследования

А н а л и з п р о б л е м ы

Перед учащимися формулируется проблема экспериментального исследования теплового действия тока и выявления факторов, от которых зависит количество теплоты, выделяемое проводником, по которому протекает электрический ток.

Согласно закону сохранения энергии количество теплоты Q , выделяемое проводником с током, равно работе сил электрического поля A по переносу заряда вдоль проводника:

$$Q = A$$

Работа есть мера превращения одного вида энергии в другой, в данном случае электрической энергии в тепловую.

Работа электрического поля по переносу единичного положительного заряда q из одной точки в другую может быть выражена из определительной формулы для напряжения:

$$U = \frac{A}{q}$$

Зная напряжение на концах проводника и перемещенный заряд, можно определить работу электрического поля по переносу этого заряда на данном участке:

$$A = Uq$$

Величина перемещенного заряда q за время t может быть определена по формуле:

$$q = I t.$$

Тогда выражение для работы сил электрического поля по переносу заряда вдоль проводника примет вид:

$$A = U I t.$$

Отсюда следует, что количество теплоты, выделяемое проводником с током, равно произведению напряжения на концах проводника, силы тока в проводнике и времени его протекания (закон Джоуля-Ленца):

$$Q = U I t.$$

Закон имеет границы применимости и выполняется, если на исследуемом участке цепи не совершается механическая работа и не происходят химические превращения вещества.

Справедливость данного закона проверяется в физическом эксперименте. С учащимися обсуждается основная идея его постановки.

Количество выделенного тепла можно измерить, если проводник, по которому протекает электрический ток, использовать как нагревательный элемент. Для этого проводник опускают в жидкость, налитую в калориметр. По изменению температуры жидкости можно определить величину выделенного проводником тепла:

$$Q_1 = c_{жс} m_{жс} (t_2 - t_1).$$

Кроме жидкости нагревается внутренний стакан калориметра. Это количество теплоты необходимо учесть в эксперименте:

$$Q_2 = c_k m_k (t_2 - t_1).$$

Для того, чтобы убедиться в справедливости закона Джоуля-Ленца необходимо проверить выполнение следующего равенства:

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

где Q – количество теплоты, выделяемое проводником; Q_1 – количество теплоты, затраченное на нагревание жидкости; Q_2 – количество теплоты, переданное внутреннему стакану калориметра.

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рисунке 22. В состав экспериментальной установки входят: калориметр; исследуемые жидкости; нагревательный элемент; термометр спиртовой; секундомер электронный; источник тока; амперметр; вольтметр; реостат; ключ электрический.

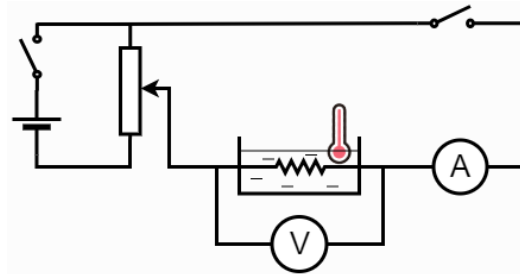


Рис. 22. Схема электрической цепи

Исследуемые в эксперименте процессы (превращение электрической энергии в тепловую, нагревание тел и веществ, теплообмен) описываются следующими физическими закономерностями: законом сохранения энергии, законом Джоуля-Ленца, законами калориметрии для нагревания тел (1 – 5):

$$Q_1 = c_{ж} m_{ж} \Delta t, \quad (1)$$

$$Q_2 = c_{к} m_{к} \Delta t, \quad (2)$$

$$Q_1 + Q_2 = Q, \quad (3)$$

$$A = UIt, \quad A = \frac{U^2}{R_{н}} t, \quad A = I^2 R^2 t, \quad (4)$$

$$Q = A, \quad (5)$$

где $m_{ж}$ – масса жидкости в калориметре, $m_{к}$ – масса калориметра, $c_{ж}$ – удельная теплоемкость жидкости в калориметра, $c_{к}$ – удельная теплоемкость материала внутреннего стакана калориметра, Δt – температурный интервал нагревания жидкости, I – сила тока в нагревательном элементе, U – напря-

жение на нагревательном элементе, R_n – сопротивление нагревателя, t – время протекания электрического тока в нагревателе.

Данная физическая модель исследуемого в эксперименте процесса базируется на *некоторых допущениях*, в частности не учитываются;

- потери тепла в калориметре, связанные с теплообменом с окружающей средой;

- побочные тепловые эффекты: парообразование, неучтенные потребители энергии (нагревание термометра и крепления нагревательного элемента в калориметре);

- изменение сопротивления нагревательного элемента (металлического проводника) по мере увеличения его температуры.

П о с т а н о в к а з а д а ч и и с с л е д о в а н и я

Требуется определить оптимальный режим выполнения лабораторного физического эксперимента, обеспечивающий минимизацию тепловых потерь и достаточную точность измерений (с относительной погрешностью не более 10 %). Должно быть учтено и ограничение по времени, отводимого на проведение одного эксперимента каждой серии. При выполнении нескольких серий экспериментов (например, 2-х – 3-х серий с разными жидкостями) продолжительность лабораторного эксперимента не должна превышать академический час (при двухчасовом занятии физического практикума). Рассмотрим подходы к реализации данных требований.

Минимизация тепловых потерь. Для решения этой задачи важно максимально снизить теплообмен с окружающей средой. Для этого необходимо ограничить разность начальной и конечной температур нагреваемой жидкости Δt , а также время нагревания t . В калориметрических опытах с хорошей теплоизоляцией время исследования теплового процесса, как правило, не превышает 10–15 минут, а исследуемые изменения температуры Δt составляют не более 2° С.

При использовании школьного калориметра с менее совершенной теплоизоляцией желательно, чтобы время нагревания было менее 10–15 минут. Например, в порядке прогноза за исходный в данном исследовании может быть принят временной интервал в 5–7 мин. При проведении КЭ может быть реализована процедура масштабирования времени. Скорость тепловых процессов можно увеличить в любое число раз.

Обеспечение требуемой точности измерений. Тепловые потери связаны с величиной температурного интервала нагревания жидкости в калориметре. Следует отметить, что при нагреве исследуемой жидкости на $2\text{--}3\text{ }^\circ\text{C}$ по отношению к температуре окружающей среды такие потери существенно снижаются, но при этом возникает проблема, связанная со значительным падением точности измерений. Причиной тому использование в школьном лабораторном эксперименте спиртового термометра с ценой деления $1\text{ }^\circ\text{C}$. При $\Delta t = 2\text{ }^\circ\text{C}$ относительная погрешность измерения температурного интервала будет недопустимо высокой. По этой причине значение Δt в школьном эксперименте должно быть увеличено, но при этом ограничено сверху. Для получения характерных для школьных опытов значений относительных погрешностей (не более 10%), оцениваемых как «удовлетворительные», интервал Δt должен составлять не менее $10\text{ }^\circ\text{C}$, но и не более того. При $\Delta t = 5\text{ }^\circ\text{C}$ погрешность возрастает почти в два раза, и такой измерительный эксперимент приобретает лишь оценочный характер (что в принципе допустимо в школьной практике в ряде случаев). Погрешности измерений прочих физических величин в данном эксперименте в сравнении с погрешностью измерения температурного интервала существенно ниже.

Ограничение времени проведения одного эксперимента серии. При проведении эксперимента по проверке справедливости какой-либо закономерности важна вариативность переменных параметров и факторов воздействия на исследуемый процесс. Это позволяет обеспечить необходимый для систематизации и обобщения объем экспериментальных данных. В случае проверки закона Джоуля-Ленца можно менять состав и массы исследуемых жидкостей, температурные интервалы нагревания, проводить эксперимент при различных значениях силы тока в нагревательном элементе. При этом важно знать, каковы возможные для данного эксперимента диапазоны изменения значений указанных параметров? И сколько времени понадобится для проведения одного эксперимента каждой серии?

Так, например, регулируемое напряжение, подаваемое на нагреватель, в учебных экспериментах, как правило, ограничено значением в 12 В. Нагреватель (спираль) для школьного калориметра имеет сопротивление 6 Ом. Следовательно, максимально допустимый ток в нагревательном элементе составит 2 А. Масса жидкости в калориметре определяется объемом его внут-

ренного стакана (200 мл) и не может быть меньше некоторого значения для обеспечения полного погружения в нее нагревательного элемента, т.е. около 70 мл. Для измерения температуры используется спиртовой термометр (0–90°С). Важен выбор исследуемых жидкостей (два–три вида). Имеет значение их доступность и безопасность в использовании. Это могут быть, например: *машинное масло, спирт и вода*. Следует отметить, что возможно использование в эксперименте приборов и материалов с другими характеристиками, но при этом необходимо учитывать типовой оснащение школьного физического практикума учебным лабораторным оборудованием.

При выборе оптимального режима проведения эксперимента целесообразно в качестве определяющего его параметра задать *время нагревания жидкости в калориметре*. В этом случае решение задачи оптимизации можно представить в виде семейства таблиц или графиков зависимости времени нагревания от параметров работы установки и свойств объектов, участвующих в теплообмене. Выбор оптимального режима по результатам компьютерного эксперимента будет определяться на основе качественного анализа полученных графиков.

Итак, укажем в итоге на основные технические характеристики экспериментальной установки и требуемые параметры ее работы:

- 1) используемые жидкости: *вода, спирт, машинное масло*;
- 2) калориметр объемом 200 мл, минимальный объем жидкости – 70 мл;
- 3) сопротивление нагревательного элемента 6 Ом;
- 4) интервал регулируемого напряжения на нагревателе 0–12 В;
- 5) максимальный ток в цепи 2 А;

б) *интервал нагревания жидкости* калориметре Δt не более 10 °С и не менее 5 °С, что соответственно определяет допустимый диапазон значений *относительной погрешности* в его измерении (10–20 %);

- 7) *время нагревания жидкости* не более 5–7 мин.

Данные параметры и условия проведения эксперимента должны быть представлены в виде математических соотношений.

2. Построение (анализ) математической модели явления.

М а т е м а т и ч е с к а я м о д е л ь

Для того, чтобы убедиться в справедливости закона Джоуля-Ленца необходимо проверить выполнение следующего равенства:

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad (6)$$

Соответственно:

$$\frac{U^2}{R_H} \cdot t = c_{ж} m_{ж} (t_2 - t_1) + c_k m_k (t_2 - t_1), \quad (7)$$

Время нагревания жидкости в калориметре при прохождении тока по нагревательному элементу определяется выражением:

$$t = \frac{(c_{ж} m_{ж} + c_k m_k) \Delta t R_H}{U^2}, \quad (8)$$

где $m_{ж}$ – масса жидкости в калориметре; m_k – масса калориметра; $c_{ж}$ – удельная теплоемкость жидкости в калориметра; c_k – удельная теплоемкость материала внутреннего стакана калориметра; $\Delta t = (t_2 - t_1)$ – температурный интервал нагревания жидкости; U – напряжение на нагревательном элементе; R_H – сопротивление нагревателя.

А н а л и з п р и к л а д н о й м а т е м а т и ч е с к о й з а д а ч и

Необходимо задать начальные условия, определяющие состояние жидкости в начальный момент времени и диапазоны изменения независимых параметров, в также диапазоны изменения искомым величин, в частности:

- исследуемые жидкости: *вода* ($c_v = 4200$ Дж/кг °С), *спирт* ($c_c = 2500$ Дж/кг °С), *машинное масло* ($c_m = 1700$ Дж/кг °С)
- масса жидкости: $0,07 \leq m_{ж} \leq 0,2$ (кг);
- начальная температура жидкости 20°C
- температурный интервал нагревания жидкости: $5 \leq \Delta t \leq 10^\circ\text{C}$;
- интервал изменения напряжения на нагревателе: $0 \leq U \leq 12$ В
- сила тока в нагревателе: $I \leq 2$ А;
- сопротивление нагревателя $R_H = 6$ Ом;
- *оптимальное время нагревания* t_o : $300 \leq t \leq 420$ с .

К а ч е с т в е н н ы й а н а л и з м о д е л и

Время нагревания жидкости в калориметре согласно выражению (8) определяется следующими параметрами: $c_{ж}$, $m_{ж}$, c_k , m_k , Δt , R_H , U . Изменяя напряжение на нагревательном элементе, мы меняем силу тока в нем и соответственно количество выделяемого элементом тепла. Чем больше напряжение и значительнее сила тока в проводнике, тем меньше будет время нагревания жидкости до заданной температуры. Можно построить и исследовать

графики зависимости $t = f(U)$ для разных жидкостей, используемых в эксперименте (рис. 23). Вид графика будет определяться не только родом жидкости, но ее массой, а также степенью нагрева.

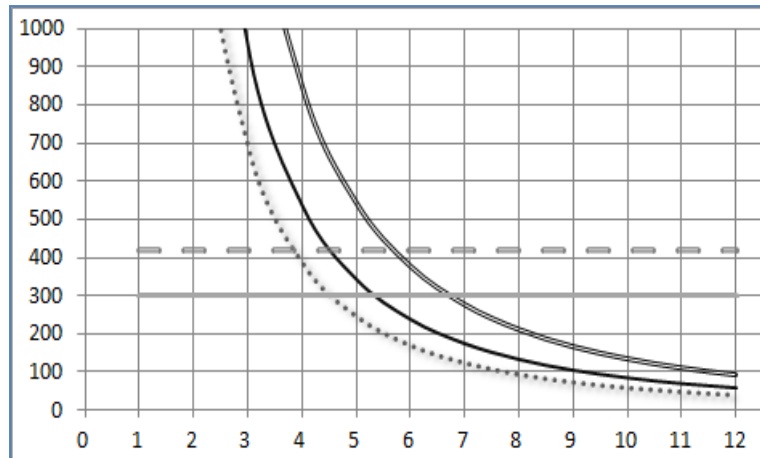


Рис.23. Зависимость времени нагрева жидкости (t , с) от напряжения (U , В) (машинное масло — ; спирт — —; вода — —; $m = 100$ г, $\Delta t = 5^\circ\text{C}$)

Введенное ограничение по времени нагрева t_0 отображается на графике прямой, параллельной оси абсцисс (ось U , В). Удобно строить две такие прямые, т.е. осуществлять поиск режима в некотором допустимом временном интервале. Точки пересечения графика функции $t = f(U)$ с каждой прямой будут определять те значения напряжения на нагревателе, которые соответствуют допустимому временному интервалу продолжительности одного эксперимента серии (5 – 7 мин). Например, при нагревании 100 г воды от 20 до 25°C можно проводить эксперимент при напряжении, меняющемся в интервале 6–12 В, для машинного масла этот интервал составит 4–12 В (рис. 24). И в том и другом случае время нагрева не будет превышать 7 минут. Варьируя параметры исследуемого процесса можно определять для каждого набора таких параметров оптимальный режим проведения лабораторного эксперимента.

Учащимся может быть предложено задание по предварительному расчету продолжительности эксперимента для некоторых начальных и граничных параметров модели. Полученный результат может быть использован впоследствии для тестирования модели.

3. Алгоритм решения прикладной задачи (планирование компьютерного эксперимента)

Разработка вычислительного алгоритма решения прикладной математической задачи фактически приравнивается к *планированию компьютерного эксперимента*, так как данным алгоритмом задается последовательность арифметических и логических действий, выполняемых на компьютере и позволяющих за конечное число шагов получить решение поставленной задачи

Алгоритм решения задачи находит отражение в структуре и содержании интерфейса компьютерной модели. Выполненный ранее анализ математической модели исследуемого физического процесса и анализ интерфейса компьютерной программы ее реализации (в особенности его диалоговых элементов) составляют основу планирования компьютерного эксперимента.

Для построения *семейства графиков зависимости времени нагревания жидкости* (машинного масла, спирта, воды) в калориметре от напряжения на нагревателе для различных значений переменных параметров исследуемых физических объектов (Δt , $c_{ж}$, $m_{ж}$) и с учетом постоянных параметров экспериментальной установки (сопротивления нагревательного элемента R_H , и характеристик внутреннего стакана калориметра c_K и m_K) должна быть реализована определенная последовательность действий (рис. 24) Необходимо:

- 1) задать значения *постоянных параметров* модели:
 - характеристики элементов экспериментальной установки: c_K , m_K , R_H ;
 - значения удельных теплоемкостей исследуемых жидкостей $c_{ж}$ ($c_{ж1}$ – машинное масло, $c_{ж2}$ – спирт, $c_{ж3}$ – вода);
- 2) определить установленный в модели диапазон и шаг изменения *переменных параметров* модели:
 - минимальное и максимальное значение массы жидкости в калориметре $m_{ж\ min}$, $m_{ж\ max}$;
 - шаг изменения значение массы жидкости $\Delta m_{ж}$;
 - минимальное и максимальное значение напряжения на нагревателе: U_1 , U_2 ;
 - шаг изменения напряжения ΔU ;
 - минимальное и максимальное значение температурного интервала Δt_1 , Δt_2 ;
 - шаг изменения значение температурного интервала $\Delta(\Delta t)$;

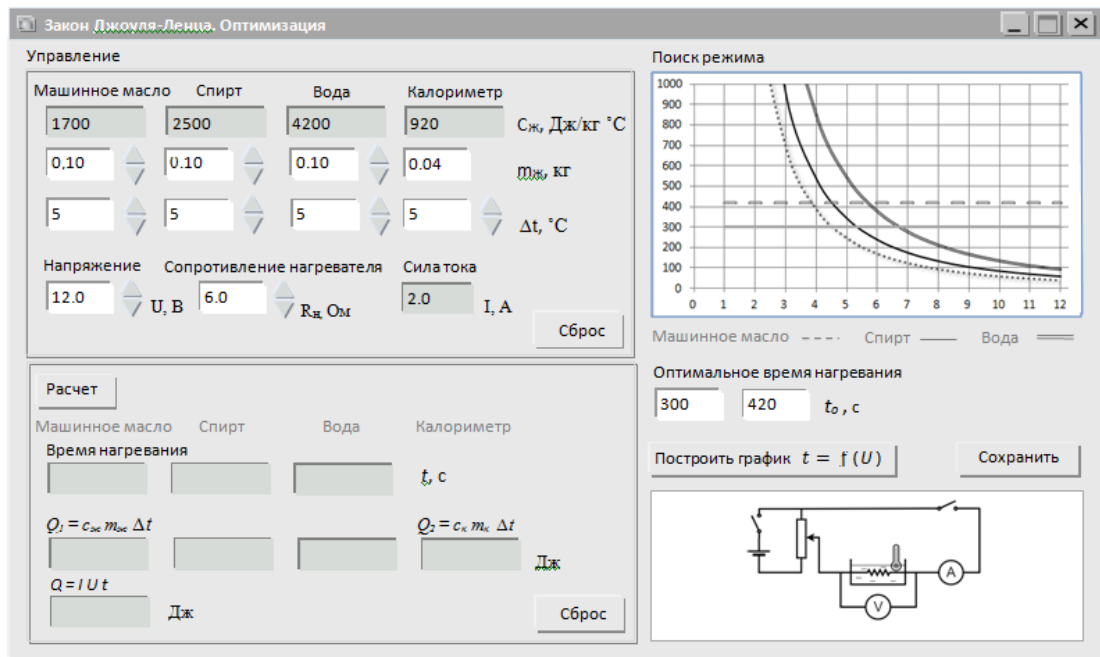


Рис.24 Интерфейс компьютерной модели «Закон Джоуля-Ленца»

- 3) задать начальные значения *переменных параметров* модели:
 - массу исследуемых жидкостей: $m_{\text{ж}} = m_{\text{ж}1} = m_{\text{ж}2} = m_{\text{ж}3}$;
 - температурный интервал нагревания жидкостей $\Delta t = \Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3$;
 - оптимальное время нагревания жидкостей $t_{\text{опт}}$ (одно или два близких значения);
- 4) выполнить расчет времени нагревания жидкости t для различных значений напряжения на нагревателе $U + \Delta U$:
 - $t_1 = \frac{(c_{\text{ж}1} m_{\text{ж}} + c_{\text{к}} m_{\text{к}}) \Delta t R_{\text{н}}}{U^2}$;
 - $t_2 = \frac{(c_{\text{ж}2} m_{\text{ж}} + c_{\text{к}} m_{\text{к}}) \Delta t R_{\text{н}}}{U^2}$;
 - $t_3 = \frac{(c_{\text{ж}3} m_{\text{ж}} + c_{\text{к}} m_{\text{к}}) \Delta t R_{\text{н}}}{U^2}$;
- 5) отобразить на экране:
 - графики зависимости времени нагревания жидкостей t от напряжения на нагревателе U ;
 - графики $t = t_{\text{опт}}$;
- 6) сохранить результаты расчетов и отображения графиков;
- 7) переопределить начальные значения *переменных параметров*:
 - массы исследуемых жидкостей $m_{\text{ж}}$;
 - температурный интервал нагревания жидкостей Δt ;

8) повторить расчет, сохранить результаты расчетов и отображения графиков;

9) при получении объема данных, достаточного для анализа результатов эксперимента, завершить вычисления.

Интуитивно понятный интерфейс – одно из важных требований к учебным компьютерным моделям. При необходимости особенности интерфейса модели должны быть дополнительно разъяснены в дидактических материалах. В нашем примере приведенный выше интерфейс учебной модели требует пояснений. В частности, при нажатии клавиши **Построить график** пользователь увидит в рабочем окне модели графики функциональной зависимости $t = f(U)$ для трех жидкостей. Построение графиков осуществляется из расчета изменения напряжения на нагревателе от 0 до 12 В. Это интервал остается неизменным для всех возможных серий моделирования, поскольку является постоянным программно заданным параметром модели экспериментальной установки. При нажатии клавиши **Расчет** выполняются вычисления времени нагревания жидкостей (1), количества теплоты, затраченной на нагревание жидкостей (2) и внутреннего стакана калориметра (3), а также количество теплоты, выделенное нагревательным элементом (3). Расчет производится для данных, указанных в блоке **Управление**, в том числе для введенного пользователем значения напряжения на нагревателе (8 В) (рис.). Эти данные соответствуют отдельной точке графика функции $t = f(U)$ при $U = 8 \text{ В}$., построенного для каждой из трех исследуемых жидкостей.

По окончании планирования КЭ целесообразен запуск модели в тестовом режиме. В частности, если проводился предварительный расчет продолжительности эксперимента для некоторых начальных и граничных параметров модели, то результаты расчета сравниваются с результатами моделирования.

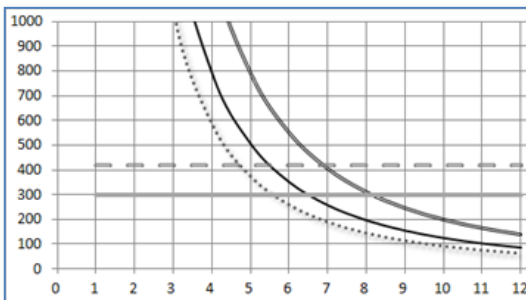
4. Выполнение компьютерного эксперимента (исследование модели).

Задания для проведения эксперимента определяются содержанием п. 3. Предварительный анализ условий оптимизации поставленной задачи является ориентировкой в выборе целесообразных комбинаций значений параметров модели для компьютерного эксперимента. В итоге строится семейство графиков зависимости времени нагревания от параметров установ-

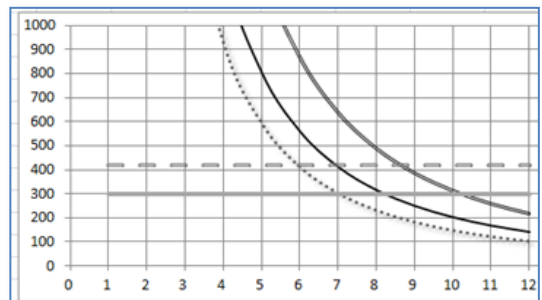
ки и исследуемых на ней объектов. Результаты моделирования сохраняются для последующего анализа.

5. Анализ результатов вычислительного эксперимента.

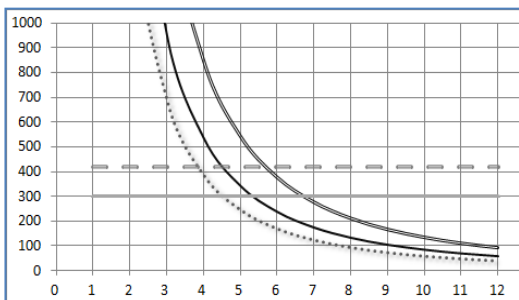
После проведения нескольких серий расчета модели выполняется качественный анализ семейства графиков, по результатам которого определяется оптимальный режим проведения эксперимента. На рисунке 25 представлен фрагмент серии результатов КЭ.



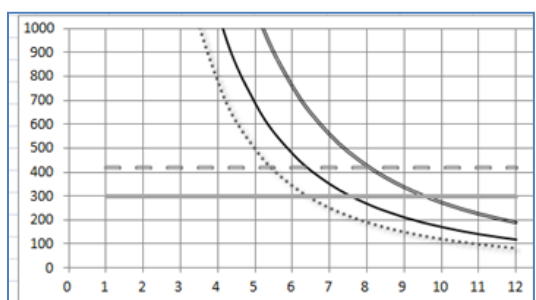
а) $m = 70 \text{ г}$, $\Delta t = 10^\circ \text{ C}$



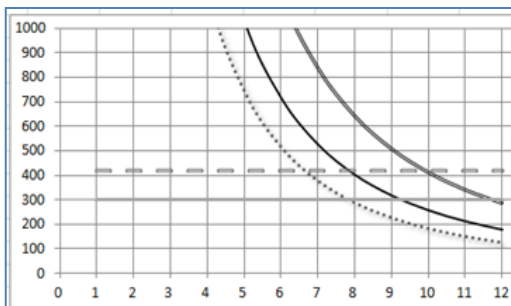
б) $m = 200 \text{ г}$, $\Delta t = 10^\circ \text{ C}$



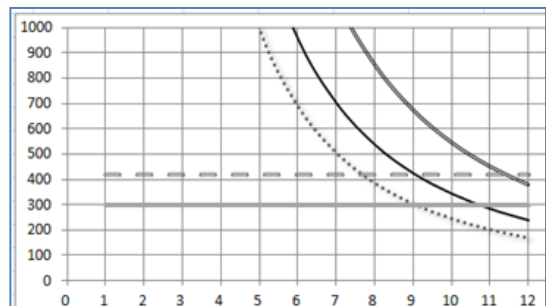
в) $m = 100 \text{ г}$, $\Delta t = 5^\circ \text{ C}$,



г) $m = 100 \text{ г}$, $\Delta t = 10^\circ \text{ C}$



д) $m = 100 \text{ г}$, $\Delta t = 15^\circ \text{ C}$



е) $m = 100 \text{ г}$, $\Delta t = 20^\circ \text{ C}$

Рис. 25. Результаты компьютерного эксперимента «Закон Джоуля-Ленца» (фрагмент)

Анализ результатов показывает, что любой из приведенных выше режимов проведения эксперимента обеспечивает требуемый временной интервал исследования (5–7 мин). Однако выполнение эксперимента в режиме (в) будет давать весьма низкую точность измерения. В режимах (д) и (е) значи-

тельные температурные интервалы нагрева будут приводить к более высоким тепловым потерям. Выбор из оставшихся вариантов (режимы а, б, г) следует сделать в пользу варианта, в котором реализуется наибольший интервал изменения напряжения на нагревателе. Это будет режим (а), при котором обеспечивается при прочих равных условиях наибольшая вариативность экспериментальных данных.

Может быть проведен расчет оптимального режима экспериментальной проверки закона Джоуля-Ленца для установок, включающих оборудование с другими характеристикам (при наличии в школьной лаборатории необходимого видового разнообразия приборов к данному эксперименту).

Достоверность результатов моделирования проверяется в ходе выполнения лабораторного физического эксперимента.

Модель позволяет сделать прогнозы значений измеряемых в эксперименте величин: время нагревания, количества теплоты, затраченного на нагревание жидкости и выделяемого проводником с током. Поскольку математическая задача, составляющая основу данной компьютерной модели имеет аналитическое решение, точность моделирования определяется только точностью компьютерных вычислений. Расхождение прогнозируемых и реальных результатов эксперимента является основанием для анализа причин, связанных с техникой его постановки, а также для поиска возможных способов их устранения.

6. Выводы по результатам компьютерного эксперимента

Учащимися формулируется заключения о достоверности результатов моделирования и справедливости прогнозов, сформулированных на их основе. Могут быть сформулированы предложения по совершенствованию компьютерной модели.

Отметим, в заключении, что исследование на модели УФЭ (вида УВЛЭ) зависимости $t = f(U)$ для трех жидкостей учащийся может провести, работая в режиме симулятора. В этом режиме возможно и прогнозирование результатов эксперимента. Однако, что вполне очевидно, продолжительность такого вычислительного эксперимента будет существенно большей. Представленные таблицами функций результаты исследования являются менее удобными для их оперативного анализа.

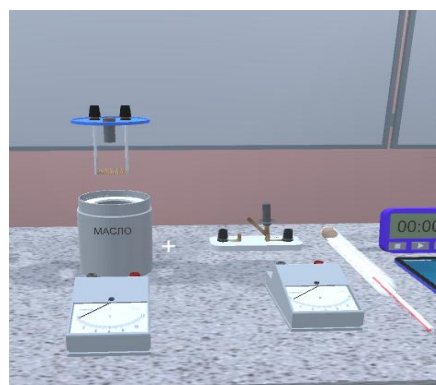
1.7. О ПРОЦЕДУРЕ ПОСТРОЕНИЯ ФАСЕТНЫХ ФОРМУЛ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИМУЛЯЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ (на примере проектирования компьютерных симуляторов УФЭ)

Согласно классификации КС (с. 228) могут быть составлены *фасетные формулы* компьютерных симуляторов физического эксперимента, отличающихся: 1) объектом симуляции, 2) способом ее реализации на компьютере, 3) целью применения в обучении; 4) уровнем интерактивности [104, с. 338–344]. Комбинация этих оснований и их видовых признаков позволяет получить достаточное разнообразие КС.

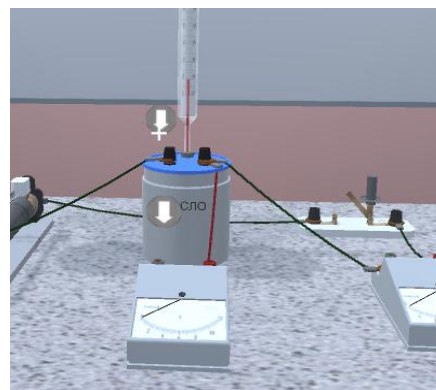
Рассмотрим некоторые примеры построения фасетных формул компьютерных симуляторов УФЭ. Если для симулятора сформировать фасетную формулу вида «**1а-б-г, 2а, 3а, 4б**», то какими особенностями будет обладать такой симулятор? Модель УФЭ данного вида включает визуализацию установки физического эксперимента и исследуемого на ней явления, а также имитацию взаимодействий пользователя с элементами учебной сцены. Такой вариант симулятора УФЭ предназначен для приобретения и отработки школьниками «готового» знания. Учащимся для работы предлагается либо готовая модель установки в сборе, либо комплект оборудования к ней. Сборка установки из предложенного набора приборов выполняется пользователем самостоятельно. На основе данной модели организуется репродуктивная учебная работа по выполнению лабораторного задания. В ходе эксперимента учащиеся взаимодействуют с элементами виртуальной учебной сцены. Порядок действий с моделью определяется инструкцией. Логика действий соответствует общей логике экспериментального исследования. В инструкции должна быть методически грамотно определена цель работы, например: *изучить* на модели *особенности протекания явления* (поведения объекта), его количественные характеристики, связи между ними и пр.; *освоить способ выполнения* физического эксперимента; *сравнить работу экспериментальной установки в различных режимах*; *изучить содержание и освоить порядок выполнения* отдельных экспериментальных действий и операций. При наличии в данной симуляции достаточно сложной математической модели обеспечивается возможность выполнения лабораторного задания в широких границах изменения параметров изучаемого явления, что, как правило, в традиционных школьных лабораторных работах нереализуемо. Достаточный

объем данных позволяет учащимся методологически грамотно выстроить систематизацию и обобщение результатов модельного эксперимента. Это обстоятельство определяет дидактическую целесообразность дополнения реального эксперимента работой учащихся с его симулятором. Реалистичный интерфейс модели УФЭ и квазиреалистичность манипуляций с элементами учебной сцены будут способствовать успешной подготовке учащихся к выполнению экспериментальных заданий в школьной лаборатории. Важным следствием такой работы является расширение и углубление знаний учащихся по методологии экспериментального исследования явлений природы.

В большинстве случаев при разработке симуляторов УФЭ целесообразно включать в учебную сцену как дополнительный элемент компьютерную анимацию дидактического назначения. Это могут быть всплывающие подсказки, различные динамические визуализации (обводка, подсвечивание, анимация, zoom-эффекты и пр.), акцентирующие внимание учащихся на главном, существенном в изучаемом явлении (рис. 26).



а) демонстрация устройства и анимация сборки калориметра



б) подсказки по сборке электрической цепи («направляемая сборка»)

Рис. 26. КС УВЛЭ Опыт Джоуля-Ленца: режим симулятора
(проект ст. Л. Ю. Худорожкова ПГПУ, 2022)

При небольшой модификации приведенной выше фасетной формулы модели-симулятора (например, приведения ее к виду «1а-б-в-г, 2а, 3а, 4б») учащиеся могут получить возможность обратиться к анализу «механизма» протекания явления, осмыслить его объяснение на основе соответствующей теории. С этой целью в модель включается анимация микроуровня протекания явления (рис.27, 28). Дополнительно учащийся может обратиться к иллюстрированным дидактическим материалам теоретического содержания.

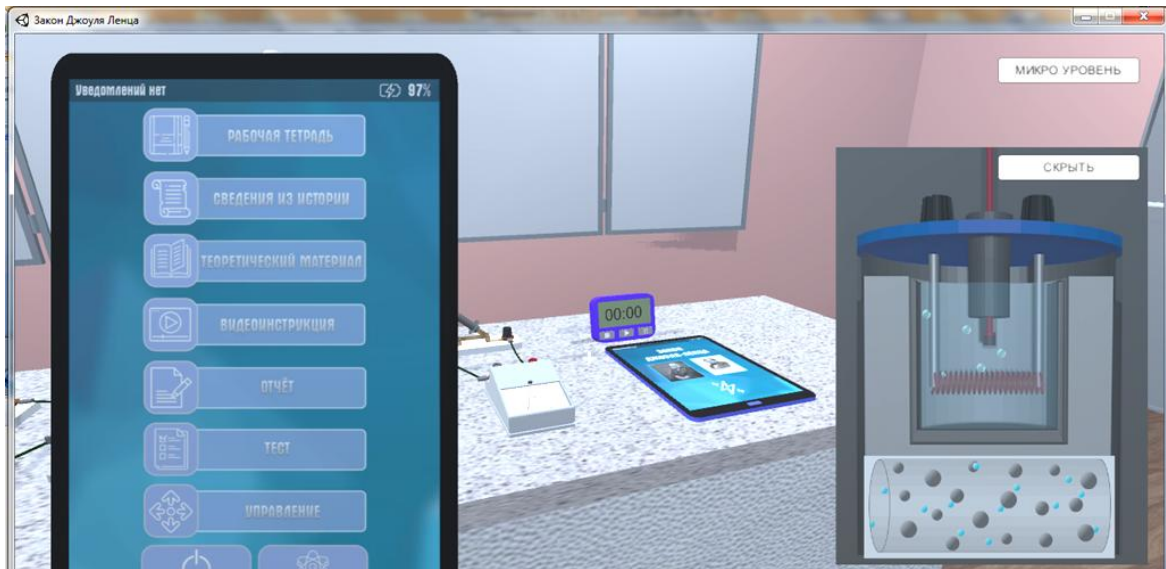


Рис.27. КС УВЛЭ « Опыт Джоуля-Ленца, режим симулятора (проект ст. Л. Ю. Худорожкова ПГГПУ, 2022)



Рис. 28. Фрагмент КС «Электризация через влияние. Определение знака заряда» (иллюстрация «механизма» электризации) (проект ст. А. А. Васильченко, ПГГПУ, 2019) (начало)



в)

Рис. 28. Фрагмент КС «Электризация через влияние. Определение знака заряда» (работа с таблицей) (проект ст. А. А. Васильченко, ПГГПУ, 2019) (окончание)

На базе модели-симулятора УВЛЭ, построенной в соответствии с фасетной формулой «**1а-б-г, 2а, 3б, 4в**» имеется возможность организовать исследовательскую деятельность учащихся, связав ее с одним из этапов компьютерного моделирования – компьютерным экспериментом. При проведении компьютерного эксперимента с использованием режима симулятора цели работы формулируются иначе. Это уже цели по *исследованию модели* явления. Учащиеся самостоятельно планируют и проводят модельный эксперимент. Исследуется поведение модели физического явления: определяются ее количественные характеристики в различных условиях, в том числе в случаях предельных значений параметров их характеризующих; обнаруживаются ранее неизвестные закономерные связи и границы их справедливости. Могут исследоваться разные режимы работы экспериментальной установки, в том числе с учетом ее различных модификаций и пр. Симулятор УФЭ, созданный на основе указанной выше фасетной формулы, в этом случае реализует свой «скрытый» методологический функционал: прогнозирование субъективно неизвестного знания. Однако такое учебное исследование проводится в его ограниченном по объему расчетном варианте, поскольку на симуляторе на подобную работу необходимо намного больше времени, чем при работе в режиме компьютерного эксперимента. При этом отдельные исследовательские задачи вполне реализуемы, а процедуры планирования и выполнения такого исследования на симуляторе являются более доступными для осмысления учащимися. Полученные в ходе исследования прогнозы подлежат проверке в физическом эксперименте, что в том или ином объеме может быть организовано в школьной лаборатории. Подобная работа с моделью УФЭ в режиме симулятора может

стимулировать учащихся к переходу к работе в режиме компьютерного эксперимента. А это другие возможности исследования: иной более удобный интерфейс и снижение временных затрат на планирование и проведение эксперимента, рост объема данных и разные способы их репрезентации, более полная аналитика результатов исследования. В целом это следующий более совершенный уровень освоения компьютерного эксперимента как метода познания. Пример работы с моделью, имеющей абстрактный интерфейс, рассмотрен на с. 270 (рис. 24). Модели с таким интерфейсом представлены в учебных пособиях М. И. Старовикова [136], А. В. Никитина, А. И. Слободянюка, М. Л. Шишакова [96] и др.

Будут полезны в учебной практике компьютерные симуляторы классических мысленных физических экспериментов. Они могут быть реализованы на основе разных фасетных формул: (1а-б-в-г, 2а или 2б; 3а или 3б; 4б или 4в). Как и в случае, рассмотренном выше, «скрытый» вычислительный эксперимент, составляющий основу симуляторов этих видов, позволит учащимся работать в условиях смены режима: *от изучения физического явления в режиме симулятора УФЭ к компьютерному эксперименту*. Весьма качественные примеры моделей мысленных физических экспериментов по специальной теории относительности представлены в обучающей среде «Виртуальная физика» (конечность скорости распространения взаимодействий, относительность одновременности (рис. 27), эффект «замедления» времени, эффект «сокращения» продольных длин и др.) [24, с 44–45].

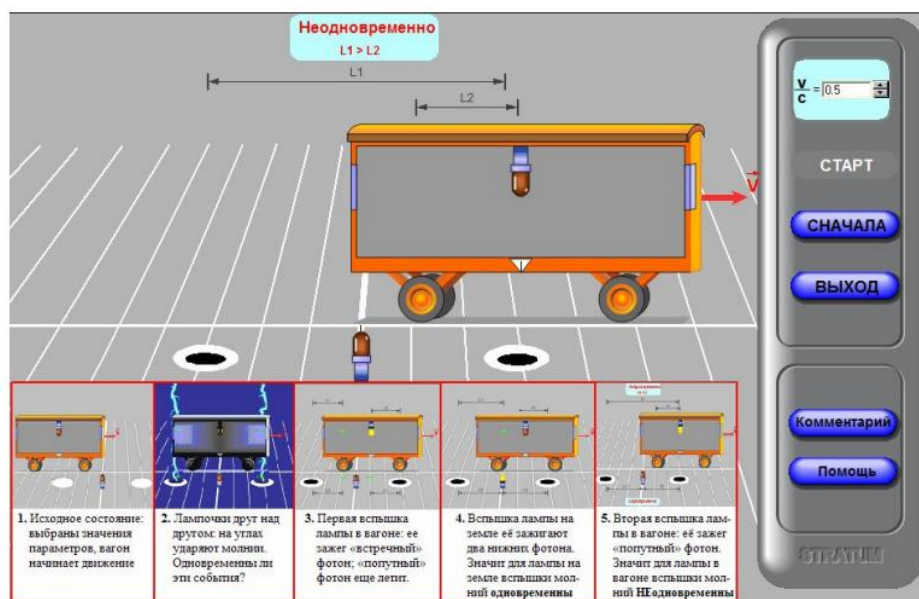


Рис. 27. Компьютерная модель «Относительность одновременности» [24, с. 44]

К ГЛАВЕ 2

1.7. Проблема обучения учащихся средней школы компьютерному моделированию физических процессов (<i>обзор диссертационных исследований</i>).....	279
1.8. Методическая подготовка будущих учителей физики к обучению школьников компьютерному моделированию (<i>обзор диссертационных исследований</i>)	289
1.9. Взаимосвязь уровней педагогического исследования и характеристика элементов педагогического знания.....	293
1.10. Выбор методологического подхода к проектированию педагогической практики.....	299
1.11. Компьютерные симуляции в системе методов и уровней научного познания...	305
1.12. Организация работы учащихся с обобщенными планами выполнения компьютерного эксперимента	307
1.13. Стадии и этапы проектирования педагогической практики применения компьютерного моделирования в учебном процессе по физике в средней школе (примеры реализации).....	312
1.14. Теоретико-методологическое обоснование принципов продуктивного обучения, содержание и ключевые направления их реализации	324
1.15. Содержание учебных модулей дисциплинарно-распределенной программы подготовки будущих учителей к разработке и применению в обучении физике компьютерных симуляций	353
1.16. Реализация стратегий поддержки продуктивной деятельности (проблематизации, ориентирования, интенсификации)	357
1.17. Характеристика этапов технологии продуктивного обучения	369
1.18. Примеры проектной работы студентов	435

**2.1. ПРОБЛЕМА ОБУЧЕНИЯ УЧАЩИХСЯ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ
КОМПЬЮТЕРНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**
(*обзор диссертационных исследований*)

Начало выполнения диссертационных исследований по проблеме организации обучения учащихся средней школы компьютерному моделированию в процессе их подготовки по физике относится к концу 20-го столетия. Одним из первых диссертационных исследований, выполненных в данном направлении, является работа И. М. Нуркаевой (1999) [99]. Автором поставлена задача разработки методической системы организации самостоятельной работы учащихся с компьютерными моделирующими программами на уроках

и во внеурочной работе по физике. С этой целью создан комплект компьютерных моделей физических явлений (оригинальных авторских и отобранных на образовательном рынке). Разработан подход к управлению познавательной деятельностью учащихся в работе с компьютерными моделями. Предложена следующая логика обучения: 1) постановка проблемы учителем; 2) разработка учащимися совместно с учителем идеи ее решения; 3) самостоятельное проведение учащимися модельного эксперимента; 4) выявление связей и «установление» законов, формулировка выводов, анализ результатов учащимися совместно с учителем. Автором составлены задания для самостоятельной работы с компьютерными моделирующими программами и подготовлен комплекс таких программ для сопровождения демонстрационного и лабораторного экспериментов по всем темам курса физики средней школы.

В диссертации Н. Б. Розовой (2002) [118] рассматриваются научно-методические вопросы применения в обучении компьютерных моделей, на основе которых учащимися могут быть выполнены исследования, недоступные для проведения в условиях школьного кабинета физики. Обсуждается содержание подобных модельных исследований, относящихся к разделу «Молекулярная физика». Розовой Н.Б. разработана для этой темы специальная моделирующая программа. При создании моделей ставилась задача не только визуализации физических процессов и оценки их количественных характеристик, но и демонстрации связи макро- и микропараметров системы частиц. В работе уточнены психолого-педагогические требования к компьютерным моделям. Подчеркивается важность приобретения учащимися в процессе исследования модели нового знания. Розовой Н.Б. разработана методика проведения уроков физики с применением созданных моделей, обеспечивающая вариативность форм и методов управления деятельностью учащихся.

Исследование О. Е. Макаровой (2003) [88], как и работа предыдущего автора, связана с оценкой возможностей применения компьютерных моделей физических процессов как средства изучения раздела «Молекулярная физика». Рассматривается дидактический потенциал «готовых» моделей, целесообразность применения которых обусловлена недоступностью непосредственного наблюдения физических процессов на молекулярном уровне. Автором разработана методика использования компьютерных моделей идеализированных объектов, а так же моделей физических явлений, процессов и фун-

даментальных опытов при изучении молекулярной физики. Предложен единый подход к работе с компьютерными моделями, включающий три этапа: 1) изучение явления на основе традиционных средств наглядности, 2) демонстрация компьютерной модели явления и особенностей ее работы учителем, 3) организация самостоятельной работы учащихся с моделью. Определены основные этапы работы учащихся с моделью явления: 1) формулировка вопроса, 2) создание проблемной ситуации, 3) выдвижение гипотезы и составление плана по ее проверке, 4) проверка гипотезы с помощью компьютерной модели, 5) выдвижение следующей гипотезы. В работе отмечается, что реализация указанной логики применения компьютерных моделей в обучении физике способствует развитию наглядно-образного и теоретического мышления учащихся, формированию у них исследовательских умений.

В докторской диссертации А. И. Ходановича (2003) ставится задача разработки и реализации модели информационной методической системы обучения физике, ориентированной на формирования ключевых информационно-коммуникативных компетенций, необходимых для саморазвития обучающихся [158]. Основу формирования компетенций этого вида составляет освоение учащимися современной методологии компьютерной физики. Автор утверждает, что учебный вычислительный эксперимент позволяет реализовать в школьной практике педагогическую концепцию учебной модели научного исследования с учетом мониторинга мотивов, уровня понимания сути изучаемых физических процессов и интеллектуального развития учащихся. Предполагается возможность работы учащихся с готовыми компьютерными моделями и полный цикл научного творчества, включающий самостоятельную разработку математических моделей физических процессов с проведением компьютерного эксперимента и последующим анализом полученных результатов. Фактически автором реализуется технология научения через информационное моделирование: физическое – математическое – компьютерное. В работе выполнено обобщение методических приемов обучения решению физических задач на компьютере с использованием методов учебного вычислительного эксперимента. Особое внимание уделяется применению компьютерного моделирования при изучении физики нелинейных явлений. Методика преподавания основ вычислительной физики рассматривается как составная часть методики обучения физике в условиях ориентации школы на

компетентностный подход. Автором создано педагогическое программное обеспечение для реализации предложенной методики обучения, разработаны конкретные уроки, спецкурсы и факультативы для учащихся средних школ.

В работе Е. С. Кошечевой (2003) обсуждается проблема развития исследовательских умений учащихся в процессе обучения физике при использовании компьютерного моделирования [76]. Рассматриваются особенности процесса формирования знаний учащихся о моделировании как методе познания. Объектом исследования учащихся являются физические явления и их компьютерные модели. Предложена методика формирования исследовательских умений на основе применения схмотехнического моделирования. Разработано содержание виртуальных лабораторных работ по изучению электромагнитных явлений с использованием схмотехнического моделирования, включающего создание с применением среды MicroCap принципиальной схемы устройства и проведение анализа его основных характеристик. Составлены обобщенные планы компонентов учебно-исследовательской деятельности (формулировки гипотезы, создания модели, изучения модели, проверки ее адекватности, переноса полученных знаний на реальное явление)

Представляет интерес диссертационное исследование, выполненное А. А. Финагиным (2004) [154]. Целью исследования является разработка методики изучения физических явлений и процессов с использованием вычислительного эксперимента. Автор указывает на важные следствия внедрения данной методики в учебный процесс: учащиеся средней школы, не владеющие специальным аппаратом математического анализа, смогут познакомиться с основными методами современной физики; будет обеспечена интенсификация процесса обучения; возрастет интерес учащихся к физике; в условиях обучения основам математического моделирования открываются новые возможности развития творческих способностей учащихся и обеспечивается рост качества их знаний по физике. В работе утверждается, что «...эффективность обучения основам математического моделирования может быть обеспечена лишь при реализации всех компонентов процесса математического моделирования: построение модели, определение алгоритма и проведение вычислительного эксперимента» [154, с. 6] Указаны направления применения вычислительного эксперимента: на уроках решения задач, в лаборатор-

ном практикуме и при организации проектной деятельности учащихся по компьютерному моделированию физических процессов.

В докторской диссертации М. И. Старовикова (2006) поставлена и решается проблема организации исследовательской деятельности учащихся в процессе освоения курса физики средней школы [135]. Реализовано обучение школьников экспериментированию, моделированию и решению задач на единой методологической основе. В качестве организационной формы занятий для проведения учебных исследований автор рассматривает лабораторный практикум. Предложена модель обучения, предусматривающая использование в рамках практикума компьютера как инструмента интеллектуального труда. В состав данной модели автор включает методику и технологию учебного физического моделирования (численного и имитационного) в доступной ученику и учителю среде компьютерного программирования. Разработаны компьютерные модели, имитирующие физический эксперимент. В качестве основного инструментального средства для обработки данных физического эксперимента, а также для постановки модельного (вычислительного и имитационного) эксперимента используются электронные таблицы Excel.

В исследовании Р. А. Матвеева (2008) определена система демонстрационных компьютерных моделей для изучения основных положений электродинамики с системой гипертекстовой помощи и методическими рекомендациями по их использованию в учебном процессе [90]. Разработана методика изучения системы моделей электродинамики в курсе физики основной школы. Определен алгоритм создания компьютерных моделей, обеспечивающих реализацию дидактических принципов научности, доступности, наглядности при формировании системы знаний учащихся по курсу физики основной школы.

Целью диссертационного исследования Е. А. Кириченко (2011) является обоснование и разработка методики формирования ключевых компетенций учащихся при выполнении модульных лабораторных работ по физике в средней общеобразовательной школе [67]. Одним из положений данной методики является включение в содержание этих работ не только о физического эксперимента, но и исследования виртуальных моделей физических процессов, а также использование во взаимосвязи реального и виртуального экспериментов в их различном сочетании.

В исследовании О. В. Заковряшиной (2014) обсуждается проблема интеграции виртуального и физического экспериментов как средства организации учебных исследований школьников старших классов [58]. Автором сформулированы условия и систематизированы приемы интеграции физического и виртуального экспериментов, указаны виды виртуального эксперимента: имитационный (имитирующий реальный физический эксперимент) и вычислительный. В работе определена процедура работы учащихся с готовой моделью имитационного эксперимента, к этапам которой отнесены: подготовительный, тестировочный практический, аналитический, рефлексивный. Указаны требования к компьютерным моделям этого вида. Для реализации предложенной методики обучения О.В. Заковряшиной разработан элективный курс «Информационные технологии в физике», включающий экспериментально-исследовательскую деятельность учащихся с использованием компьютерного моделирования. Курс предназначен для классов с углубленным изучением физики. Предполагается как работа с готовыми имитационными моделями, так и создание моделей учащимися на языке программирования или в какой-либо специализированной вычислительной среде.

В докторской диссертации С. Б. Рыжикова (2014) решается задача разработки методической системы развития исследовательских способностей одаренных школьников при их обучении физике [120]. Учебные занятия строятся на основе решения проблемных задач как традиционными методами (алгебраическими, геометрическими), так и с использованием инновационных методов – компьютерного моделирования физических процессов на основе численных методов. Автором подчеркивается существенная роль электронных таблиц и языков программирования для реализации компьютерного моделирования. Это позволяет преодолеть слабость математической подготовки школьников при решении задач повышенной сложности. Работа учащихся поддерживается системой шаблонов электронных таблиц, реализующих алгоритмы численных методов решения сложных задач. Обучение осуществляется в рамках специально разработанного пропедевтического курса. Автор определяет основные этапы методики обучения школьников компьютерному моделированию: 1) создание проблемной ситуации; 2) построение учащимися шаблона электронной таблицы или использование готового шаблона; 3) заполнение таблиц и анализ результата при варьировании начальных

условий; 4) решение задачи аналитическим методом; 5) проверка результатов (по возможности) в физическом эксперименте; 6) решение подобной задачи для закрепления материала [120, с. 23-24]. С. Б. Рыжиков отмечает, что применение компьютерного моделирования на основе численных методов обеспечивает высокий уровень субъективной новизны учебного исследования и успешности его проведения на всех этапах.

В исследовании Л. В. Тищенко (2018 г.) предлагается обновленная модель физического практикума, сочетающего экспериментальный практикум (лабораторный практикум и исследование физических процессов на основе компьютерного моделирования) и решение физических задач [144]. Практикум предназначен для углубленного изучения курса физики средней школы. Его применение способствует эффективному обучению старшеклассников решению задач и освоению современного научного метода познания - *компьютерного моделирования*. Организация такого практикума строится на основе межпредметных связей курсов физики информатики. Модели для исследования физических процессов учащиеся разрабатывают на уроках информатики после проведения лабораторного физического эксперимента. Затем физический процесс исследуется на модели в ходе компьютерного эксперимента. В заключении результаты компьютерного и физического экспериментов сравниваются. Завершается обучение решением задач, связанных с углубленным рассмотрением физического процесса, исследованного в лабораторном и компьютерном экспериментах.

В исследовании И.М. Зенцовой (2018)¹⁰ рассматриваются вопросы методики организации домашнего физического эксперимента с применением современных информационных средств сопровождения. В составе цифровых ресурсов, поддерживающих домашний эксперимент учащихся, представлены виртуальные лабораторные работы. Автором построена с использованием готовых компьютерных моделей физического эксперимента система домашних лабораторных заданий, охватывающих основные цели экспериментального исследования. Разработана методика организации домашнего физического эксперимента с применением средств ИКТ.

Сформулируем основные выводы по результатам обзора.

¹⁰ Зенцова, И. М. Домашний экспериментальный практикум по физике как средство предпрофильной подготовки учащихся основной школы: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – Екатеринбург. – 2018. – 365 с.

1. В исследованиях дана оценка значимости включения в содержание предметной подготовки учащихся по физике компьютерного моделирования как метода научного познания. А.И. Ходановичем высказывается мнение, что методика преподавания основ вычислительной физики должна рассматриваться как составная часть методики обучения физике, а учебный вычислительный эксперимент как эффективное средство реализации в школьной практике педагогической концепции учебной модели научного исследования.

2. Применение компьютерного моделирования в обучении физике как метода познания базируется на понимании необходимости интеграции процессов подготовки учащихся по физике, математике и информатике. При этом методические аспекты этой интеграции не обсуждаются в диссертационных исследованиях. Исключением является работа Л. В. Тищенко, в которой на основе межпредметных связей курсов физики и информатики рассматриваются содержание и технология проведения экспериментального практикума, включающего задания по компьютерному моделированию.

3. Уделяется внимание внутрипредметной специализации содержания обучения элементам вычислительной физики. Авторами ряда исследований разработаны программы практикумов, курсов по выбору, факультативов по компьютерному моделированию для учащихся, осваивающих курс физики на углубленном уровне (А. И. Ходанович, О. В. Заковряшина, С. Б. Рыжиков).

4. Важным направлением исследований является решение проблемы включения элементов компьютерного моделирования в содержание основного учебного процесса по физике.

Ряд диссертационных работ посвящен вопросам методики применения «готовых» КС с целью освоения материала сложных учебных тем. (*по молекулярной физике* – Н. Б. Розова, О. Е. Макарова, *по электродинамике* – Е. С. Кошечева, Р. А. Матвеев). Рассматривается возможность демонстрации учителем компьютерного эксперимента как метода исследования физических явлений (А. А. Финагин), обсуждаются аспекты взаимосвязи физического и компьютерного экспериментов (Е. А. Кириченко, О. В. Заковряшина).

Выполнены исследования по проблеме применения вычислительного эксперимента на занятиях разных организационных форм (А. А. Финагин, М. И. Старовиков, Л. В. Тищенко). Разрабатывается методика проведения занятий по физике с применением компьютерных симуляций, обеспечивающая

вариативность форм и методов управления деятельностью учащихся (Н. Б. Розова, А. И. Ходанович, Р. А. Матвеев). Обсуждается методика работы с компьютерными моделирующими программами как средством сопровождения демонстрационного и лабораторного экспериментов по физике (И. М. Нуркаева). Рассматриваются возможности использования «готовых» компьютерных симуляций как средства сопровождения домашнего физического эксперимента (И. М. Зенцова).

Предприняты попытки выделить этапы совместной работы учителя и учащихся с «готовыми» КС как средством развития их наглядно-образного и теоретического мышления (И. М. Нуркаева, О. Е. Макарова).

5. В ходе ряда исследований разработаны авторские компьютерные симуляции различных видов: физических явлений, идеализированных объектов, фундаментальных опытов, электрических схем (И. М. Нуркаева, Н. Б. Розова, Е. С. Кошечева), а также модели, имитирующие физический эксперимент. Обсуждаются требования к компьютерным моделям физического эксперимента (О. В. Заковряшина). Предложен алгоритм создания демонстрационных компьютерных моделей для учащихся основной школы, обеспечивающих реализацию дидактических принципов научности, доступности, наглядности (Р. А. Матвеев).

6. Одной из важных целей, обозначенных авторами диссертаций, является разработка методики формирования у учащихся исследовательских умений в области компьютерного моделирования. С этой целью подготовлены циклы лабораторных работ с «готовыми» КС (Е. С. Кошечева, М. И. Старовиков). Предпринята попытка описания процедуры работы учащихся с «готовой» КС. В частности определены этапы выполнения компьютерного эксперимента, имитирующего физический эксперимент: подготовительный, тестировочный, практический, аналитический, рефлексивный (О. В. Заковряшина)

Обсуждается возможность выполнения учащимися полного цикла компьютерного моделирования, включающего самостоятельную разработку КС физических процессов с последующим проведением компьютерного эксперимента (А. И. Ходанович, Е. С. Кошечева, А. А. Финагин, М. И. Старовиков, О. В. Заковряшина). Утверждается, что только в этом случае обеспечивается эффективность обучения основам компьютерного моделирования (А. А. Финагин). В работе С. Б. Рыжикова предложена методическая система развития

исследовательских способностей одаренных школьников при их обучении компьютерному моделированию.

7. Общей особенностью выполненных исследований является авторская разработка или отбор диссертантами моделирующих программ для проведения компьютерных экспериментов и описание методики их применения в учебном процессе с целью совершенствования качества усвоения школьниками учебного материала по физике и/или формирования у них базовых исследовательских умений в области компьютерного моделирования.

Следует отметить попытки представить в содержании разработанных методик обучения некие *общие ориентиры формирования представлений учащихся о компьютерном моделировании* как методе познания и организации их деятельности по его освоению. К таким ориентирам могут быть отнесены: 1) логика управления познавательной деятельностью учащихся в работе с компьютерными моделями (И. М. Нуркаева); 2) этапы совместной деятельности учителя и учащихся с компьютерными моделями и этапы работы самостоятельной работы учащихся с моделью при ее исследовании (О. Е. Макарова); 3) обобщение методических приемов обучения решению физических задач на компьютере с использованием вычислительного эксперимента (А. И. Ходанович); 3) требования к упражнениям в решении физических задач, основанным на модельных компьютерных экспериментах (Л. Х. Умарова); 4) обобщенные планы компонентов учебно-исследовательской деятельности учащихся в ходе схемотехнического моделирования (Е. С. Кошечеева); 5) направления применения вычислительного эксперимента на учебных занятиях разных форм (уроках решения задач, в лабораторном практикуме), а также при организации проектной деятельности учащихся (А. А. Финагин); 6) условия и приемы интеграции физического и виртуального экспериментов; требования к компьютерным моделям имитационного физического эксперимента и этапы работы учащихся с «готовыми» моделями этого вида (О. В. Заковряшина); 7) виды учебного вычислительного эксперимента для использования в учебном процессе по физике (М. И. Старовиков); этапы обучения школьников компьютерному моделированию (С. Б. Рыжиков).

Обозначенные авторами ориентиры организации обучения школьников компьютерному моделированию обладают свойством некоторой универсальности и могут быть использованы учителями физики в исходном или моди-

фицированном виде при проектировании собственной технологии организации учебного процесса. Систематизация накопленных знаний о способах включения компьютерного моделирования в учебный процесс по физике в средней школе и их обобщение составляют основу для разработки содержания и методики соответствующей подготовки будущих учителей-предметников.

2.2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ К ОБУЧЕНИЮ ШКОЛЬНИКОВ КОМПЬЮТЕРНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

(обзор диссертационных исследований)

Одно из первых диссертационных исследований в данном направлении выполнено О. В. Оськиной (2000 г.) [106]. Автором поставлена задача разработки методики обучения студентов основам компьютерного моделирования физических систем средствами спецкурса «Основы моделирования». Дана оценка влияния данной методики на качество знаний студентов, их мотивацию и готовность к использованию приобретенного опыта компьютерного моделирования на практике.

Представляет интерес практико-ориентированная работа Р. Ф. Маликова (2005), целью которой является формирование у студентов педагогических специальностей умений и навыков компьютерного моделирования физических процессов [89]. Автором подготовлено более 60 задач по компьютерному моделированию в области механики и молекулярной физики, по электричеству, оптике и квантовой физике. Их использование рекомендуется при проведении вычислительного практикума, а также для постановки целей курсового и дипломного проектирования.

Идея специальной подготовки будущих учителей физики к компьютерному моделированию получает дальнейшее и весьма масштабное развитие в докторской диссертации С. Е. Попова (2006) [111]. Автором разработаны модель методической системы учебной дисциплины «*Вычислительная физика*» и построенная на ее основе методика обучения будущих учителей современной методологии познания, основанной на математическом моделировании физических явлений и вычислительном эксперименте. Подчеркивается особая значимость подготовки будущего учителя в данном направлении. Показано, что вычислительная физика как фундаментальный раздел науки яви-

лась закономерным результатом развития методологии физического познания, детерминированного необходимостью решения сложных физических и технологических проблем, а вычислительный эксперимент стал общефизическим методом исследования. Вне специальной учебной дисциплины автор исключает возможность «...формировать у студентов основные понятия вычислительной физики и полноценно раскрыть сущность методологии вычислительного эксперимента, а тем более привить прочные навыки ее применения в исследовании и обучении» [111, с. 9]. Овладение студентами данной методологией, по мнению С. Е. Попова, должно строиться на основе метода исследовательских проектов. Автором разработана технология проектного метода обучения студентов. В продолжение выполненного исследования С. Е. Поповым подготовлены элективные курсы и факультативы по основам вычислительной физики для учащихся средней школы. При этом исследователь отрицает необходимость формирования у будущих учителей физики опыта самостоятельной разработки авторских учебных моделей физических явлений, предназначенных для проведения компьютерного эксперимента на занятиях с учащимися в школе [111, с. 67].

В исследовании И. И. Хинича (2011) поставлена и решается проблема научно-методического обеспечения организации подготовки педагогических кадров по физике, направленной на целостное освоение студентами методологии научных исследований [157]. Определено понятие целостного исследовательского обучения физике и разработан системный подход к его обеспечению при освоении студентами *курса общей физики*. Рассматривается построение учебного процесса в форме полного исследовательского цикла, включая самостоятельное добывание студентами значимых для практики результатов в процессе решения проблемно-ориентированных циклов задач. В структуре цикла исследования представлены следующие этапы: постановка физического эксперимента, разработка и анализ физических и математических моделей исследуемых процессов, выполнение компьютерного моделирования и вычислительного эксперимента, сопоставление теории и эксперимента. Рекомендуется строить обучение студентов на предметном материале высокого уровня научной и практической значимости (в частности, на примере изучения физических основ твердотельной электроники). Такой подход к обучению, по мнению автора, обеспечивает содержательную и методологи-

ческую целостность исследовательской подготовки будущих педагогов. На этапе анализа результатов педагогического эксперимента автор дает оценку уровня сформированности умений студентов в проведении целостного исследования, а также влияние разработанной методики обучения на уровень их готовности к применению приобретенных знаний и умений в профессиональной педагогической деятельности.

В. А. Белянин (2012) тоже обращается к вопросу обучения будущих учителей физики компьютерному моделированию в рамках решения общей проблемы их подготовки к научно-исследовательской деятельности [30]. Автором разработана методическая система формирования исследовательской компетенции студентов при изучении *курса общей физики*. В ее состав включены три методики обучения, одна из которых базируется на организации при изучении курса общей физики математического (аналитического) и компьютерного моделирования (выполнения виртуального эксперимента).

В диссертационном исследовании Д. Ф. Терегулова (2017) раскрыты особенности подготовки студентов педагогического вуза к проведению современного учебного физического эксперимента [142]. Методика подготовки базируется на идее применения в обучении так называемого «натурно-вычислительного эксперимента». Отметим, что понятие о такой разновидности эксперимента ранее было введено А.И. Ходоновичем (2003) [158]. В работе Д.Ф. Терегулова данный вид эксперимента определяется как новый метод обучения физике. Его суть состоит в интеграции лабораторного эксперимента и компьютерного моделирования. В исследовании предложены формы такой интеграции. Разработана методика формирования готовности будущего учителя физики к проведению натурно-вычислительных экспериментов. Обучение осуществляется в рамках *курса общей физики*.

Важно рассмотреть исследования, в которых проблема методологической подготовки будущих учителей физики в области компьютерного моделирования решается в рамках дисциплин методического цикла учебной программы их подготовки.

В исследовании Н. А. Оспенникова (2007) предложена методика обучения студентов физических факультетов педвузов комплексному использованию компонентов ИКТ-инфраструктуры предметной среды на лабораторных занятиях по физике в средней школе [101]. Результатом такого обучения яв-

ляется овладение студентами системой специальных методик и технологий работы с компонентами этой среды, в том числе освоение начального опыта проектирования, разработки и применения в обучении интерактивных компьютерных моделей физических явлений. В работе сформулированы методические требования к созданию моделей этого вида и подготовке учебных инструкций, ориентированных на формирование у учащихся обобщенных умений в работе с учебными компьютерными моделями. Для подготовки студентов в данном направлении разработана программа учебного модуля в структуре учебной дисциплины «Методика обучения физике».

В исследовании С. А. Смирнова (2009) рассматриваются вопросы обучения студентов педагогических вузов созданию электронных образовательных ресурсов по физике [129]. Автором разработана методика обучения студентов созданию предметных ЭОР, основанная на компетентностном подходе и реализуемая в рамках спецкурса «Создание электронных образовательных ресурсов по физике». Предложена обновленная система общих требований к ЭОР, рассматриваются общие для всех видов ресурсов этапы их разработки. В составе многочисленных разновидностей ЭОР, рекомендуемых для проектной работы студентов, указаны компьютерные модели физических явлений. При этом научно-методические вопросы, касающиеся их создания и применения в обучении, в диссертации не обсуждаются.

Е. С. Шестаковой (2010) выполнено исследование, посвященное обучению будущих учителей реализации принципа историзма в учебном процессе по физике с применением в решении данной задачи средств ИКТ [167]. Автором определены содержание и методика обучения студентов по данному направлению, а также тематика их проектно-исследовательской деятельности по разработке цифровых ресурсов исторического содержания. Методика организации проектной деятельности продемонстрирована на примере коллективной разработки студентами цифрового ресурса «Эксперимент в истории физической науки». В составе данного ресурса наряду с другими учебными объектами студентами разрабатывались компьютерные модели фундаментальных физических опытов. Реконструкция исторических экспериментов осуществлялась в форме компьютерной анимации и/или интерактивной компьютерной модели. В работе определены требования к разработке цифровых ресурсов данного вида и жанра, а также критерии оценки их качества. С це-

лью подготовки студентов в данном направлении разработаны программа учебного модуля в составе дисциплины «Методика обучения физики» и спецкурса по выбору «*Изучение вопросов истории физики в условиях ИКТ-насыщенной учебной среды*».

Целью исследования, выполненного И. В. Ильиным (2013), является разработка методики формирования у учащихся средней школы системы метатехнического знания при обучении физики и формирование готовности будущих учителей к ее реализации в учебном процессе по предмету [64]. Одно из направлений подготовки студентов связано с формированием у них опыта создания цифровых средств обучения технической тематики. Студентам к разработке предлагается коллективный проект цифрового ресурса «Физика современной техносферы». В составе ресурса представлены интерактивные компьютерные модели технических объектов, а также компьютерных моделей физических явлений, лежащих в основе их работы. Для студентов определены требования к проектированию данных моделей и к разработке цифровых дидактических материалов, сопровождающих работу учащихся с данными моделями. Обучение студентов осуществлялось в рамках специально разработанного спецкурса (по выбору): «*Принцип политехнизма в обучении физике: содержание и современные стратегии реализации*».

2.3. ВЗАИМОСВЯЗЬ УРОВНЕЙ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕМЕНТОВ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ

Независимо от области научного знания научный поиск включает два уровня исследования: эмпирический и теоретический.

Эмпирический уровень исследования, доступный не только профессиональным ученым, но и широкому классу практикующих педагогов, является источником обширного педагогического знания, определяющего разные направления совершенствования образовательного процесса. При этом общеизвестна инструментальная ограниченность методов исследования данного уровня. Эмпирическое познание, базирующееся на педагогическом опыте (наблюдении, эксперименте), завершается выявлением закономерных связей, которым подчиняется исследуемая группа однородных педагогических явлений. Однако на основе данных связей не складывается понимание их сущности, не формируется та или иная интерпретация «механизма» протекания.

Благодаря выявленной закономерности исследователь овладевает лишь инструментами воздействия на данное явление в условиях и границах, которые строго не определены и могут быть выявлены с той или иной степенью точности только в педагогическом эксперименте.

Теоретический уровень познания связан с истолкованием природы, структуры, логики развития педагогических явлений некоторой области, что позволяет исследователю спрогнозировать факторы воздействия на явления, обозначить комплекс закономерностей их протекания и указать границы их действия. В чистом виде теоретического педагогического знания не существует. Теоретическая педагогика может рассматриваться как интегративное научное знание, возникающее как результат прикладных исследований, базирующееся на достижениях наук о человеке и обществе (философии, антропологии, биологии, психологии, социологии, аксиологии и др.). Следствия таких теорий (психолого-педагогических, социально-педагогических, философско-педагогических, педагогической антропологии и др.), а также теоретических концепций как прототеорий (не в полной мере «развернутой» ключевой идеи теории) могут совпадать с ранее выявленными на эмпирическом уровне закономерностями и построенными на их основе эмпирическими моделями педагогических явлений некоторых групп, а также служить основанием для объяснения результативности соответствующих этим моделям методик и технологий регулятивного воздействия на данные явления. С позиций теоретического знания данные методики и технологии не только получают свое теоретическое обоснование, возможны их уточнение и дальнейшее развитие, а также разработка принципиально новых методических решений организации педагогического процесса. В этом состоит объясняющая и предсказующая сила теоретического знания (психолого-педагогического, социально-педагогического и др.) Так, например, на основе теории мышления З. И. Калмыковой¹¹ была дана в свое время оценка эффективности применения в обучении опорных конспектов В. Ф. Шаталова.

Согласно предложенной модели современного педагогического знания (табл. 3, с. 102) его структуру образуют следующих элементы:

1) э м п и р и ч е с к и й у р о в е н ь :

– педагогические факты;

¹¹ Калмыкова, З.И. Развивает ли продуктивное мышление система обучения В.Ф. Шаталова? // Вопросы психологии. – 1987. – № 2. – С. 71–80.

- *классификации, иерархии, структуры, периодизации педагогических фактов;*
- *педагогические понятия и категории;*
- *эмпирические педагогические закономерности (в форме качественных утверждений – положений, частных принципов);*
- *принципы обучения и воспитания как эмпирические закономерности высокого уровня обобщения;*
- *описательные модели педагогических явлений (структурные и/или динамические);*
- *модели регулятивного воздействия на педагогические явления и разработанные на их основе модели педагогических процессов и систем;*
- *методики (содержание, методы, средства) и технологии реализации моделей регулятивного воздействия на педагогические явления в рамках организуемых педагогических процессов и педагогических систем;*

2) теоретический уровень:

- *образовательные парадигмы (концепции первого рода) (по Л. В. Дмитриевой) [53];*
- *теории в составе образующих их структуру элементов:*
 - *базис (эмпирическое педагогическое знание, известные теории и апробированные педагогические концепции третьего рода, методологические подходы);*
 - *ядро (интерпретационная модель педагогического явления, система понятий и принципов ее характеризующих, положения теории);*
 - *следствия теории:*
 - *модели регулятивного воздействия на педагогические явления, базирующиеся на теоретической интерпретации их сущности;*
 - *педагогические системы как теоретически обоснованные модели комплексного воздействия на педагогические явления (педагогические концепции третьего рода) [53];*
 - *методики (содержание, методы, средства) и технологии реализации модели регулятивного воздействия на педагогическое явление в рамках педагогических процессов и систем.*
- *прототеории (теоретические концепции второго рода) [53];*

Уточним в рамках настоящего исследования *рабочие определения* ряда элементов (форм) научно-педагогического знания, включенных в состав его модели. Остальные элементы используются в их общепринятой трактовке.

К педагогическим явлениям относятся субъекты образовательного процесса как носители комплексов внешних проявлений соответствующих им свойств и качеств (физиологических, психических и личностных), образовательные объекты, а также процессы их жизнедеятельности / функционирования, взаимодействия и эволюции.

Эмпирические закономерности – закономерности протекания педагогических явлений, выявленные в ходе педагогической практики и отражающие на качественном уровне различные виды связи между явлениями, особенности их взаимодействия, функционирования, последовательность этапов развития. Чаще всего в педагогике эти закономерности отражают «... связи между преднамеренно созданными или объективно существующими условиями и достигнутыми результатами обученности, воспитанности, развитости личности в конкретных ее параметрах, т.е. указывают на то, какие факторы предопределяют эффективность или конкретные результаты образовательного процесса». ¹² Как правило, данные закономерности представлены в форме развернутых *методических положений* организации образовательного процесса или в краткой формулировке как *принципы* его построения.

Принципы обучения/воспитания – суть эмпирические закономерности высокого уровня обобщения. Следует отличать принципы этого уровня от частных принципов, характеризующих конкретную модель педагогического процесса, как положений, отражающих частные закономерности, определенные нормы, правила и требования к осуществлению какой-либо деятельности в рамках конкретной образовательной модели.

Методика и технология обучения – понятия, не требующие специального рассмотрения в силу достаточного единства позиций исследователей в их толковании. При этом немаловажным является акцент на различии понятий «методика» и «методология». Если речь идет о конкретной методике обучения/воспитания/развития, то имеется в виду сложившаяся практика оптимизации какой-либо деятельности, фактически завершённый педагогический

¹² Лызь, Н.А. Виды и формы педагогического знания /Муниципальное образование: инновации и эксперимент. – 2014. – №6. – с. 40–45.

«продукт». Данная « ... методика представляет собой рефлекссию (описание) и обоснование оправдавшего себя профессионального опыта» [125]. Обоснование этого опыта может быть: *эмпирическим* (эмпирические закономерности → модель обучения → методика и технологии реализации модели) или *теоретическим* (теория или концепция (прототеория) → модель обучения → методика и технологии реализации модели).

В отличие от *методики*, ориентированной исключительно на реализацию разработанной модели обучения/воспитания, *методология* как учение о способах добывания знаний и преобразования педагогической практики используется как «инструмент» разработки моделей педагогических явлений (объектов, процессов). Для методологии, отмечает В. М. Розин, по итогам анализа проблем педагогической практики, требующих разрешения, всегда характерен поворот от предметно-дисциплинарной позиции рассмотрения педагогического процесса к исследованию его «рефлексивных содержаний» (т.е. характеризующих его типов знаний, классификаций, структуры, этапов развития и т.п.). Это, так называемый, «методологический поворот». Далее осуществляется переосмысление рефлексивных содержаний на основе современного научно-педагогического знания (понятий широкой степени общности, категорий, теорий, концепций, подходов), а также достижений смежных наук. Завершается этот процесс вновь «дисциплинарным поворотом» (возвращением в предмет), что предполагает моделирование и методическое описание конкретной педагогической практики с использованием новых или уточненных понятий и способов деятельности. Таким образом, если для методологии характерно «распредмечивание используемых в ней представлений и понятий», то для разрабатываемой методики обучения важно их конкретное предметное содержание [125].

Особого внимания заслуживает обсуждение толкований понятий *теории* и *педагогической концепции*. Необходимо разграничение этих форм педагогического знания. Концепция – определённый способ понимания, трактовки какого-либо явления (предмета, процесса), основная точка зрения, базирующиеся на общем замысле, руководящей идее для его систематического описания и определяющие «развертывание» этой идеи в системе базовых понятий, схем рассуждений, результатом которых является целостное восприятие данного явления. Изначально в период становления классической науки име-

ла место тенденция отождествления понятий концепции и теории, при этом концепцией обозначали «неполную», «нестрогую» теорию (или прототеорию). В современной фундаментальной науке реализуется близкий к этому подход. Говоря о концепции, имеют в виду «... предварительную теоретическую организацию «материала» внутри научной теории, которая в своей полной «развертке» выступает как ее реализация».¹³ Фактически речь идет о прототеории (теоретическом дискурсе, потенциально содержащем в себе теорию). Эта форма педагогического знания обозначена Л. В. Дмитриевой как *концепция второго рода* [53].

В современном социогуманитарном знании концепция может иметь статус самостоятельной формы организации педагогического знания, «замещающей» теорию. Такая форма педагогического знания определяется как *концепция третьего рода*. Главным отличием такой концепции от теории и прототеории является смещение смыслового фокуса с «когнитивного», «логического», «внутрисистемного», характерного для теоретического знания, на «праксеологическое», «семантическое» и актуализация социокультурной и ценностно-нормативной составляющих ее содержания. Важно отметить, что концепция третьего рода как элемент педагогического знания не обладает прогностическим потенциалом, поскольку сама возникает как следствие теоретического знания. По сути это форма педагогического проектирования, посредством которой излагается основной замысел, ведущие идеи построения и развития какой-либо педагогической системы, педагогического процесса или определенной деятельности. Это своего рода развернутая и аргументированная декларация о педагогических намерениях по преобразованию педагогической практики. Формируемые на основе результатов научно-педагогических исследований концепции третьего рода включают только те идеи, принципы и положения, которые могут быть реально воплощены в конкретных педагогических условиях. Основу концепций третьего рода могут составлять идеи разных непротиворечащих друг другу теорий. *Политеоретичность* таких педагогических концепций – одна из их распространенных характеристик. Педагогическая концепция третьего рода «... служит исходным нормативным документом для достижения согласованных действий и осуще-

¹³ Большой энциклопедический словарь (БЭС) – URL:<https://rus-big-enc-dict.slovaronline.com/> (дата обращения: 27.09.23).

ствления единого подхода в решении текущих вопросов, как критерий полезности всякого рода новаций и инноваций, как основа для создания экспериментальных площадок, как средство стимулирования и объединения всех субъектов образования в единый коллектив, способ повышения общей педагогической культуры».¹⁴ Такие концепции обладают признаками новизны – творческого порождения новых исследовательских (за счет формирования авторских подходов к их разработке) и педагогических практик.

Итак, при анализе современного арсенала разработанных на сегодня педагогических концепций можно обнаружить: 1) *концепции первого рода* – образовательные парадигмы; 2) *концепции второго рода* как нестрогие теории (или прототеории); 3) *концепции третьего рода* как формы научно-обоснованного проектирования педагогического процесса или системы [53]. Концепции второго рода как «неполные» теории обладает прогностическими функциями, концепции третьего рода являют собой лишь следствие теоретического знания, на базе которого они разработаны.

2.4. ВЫБОР МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ

Важным для уточнения дефиниции является такой элемент педагогического знания как *подход*. В нашем исследовании мы придерживаемся определения данного элемента в трактовках Н. А. Лызь и Е. В. Титовой. Понятие «подход» в неявном виде соотносится с понятиями «выбор» или «отграничение» и заведомо предполагает вариативность принимаемых субъектом решений. «Человек (субъект) выбирает тот или иной подход при осуществлении практической или теоретической (исследовательской) деятельности, тем самым отграничивая круг используемых средств или (и) аспектов рассмотрения (видения) предмета деятельности».¹⁵ В этом контексте подход рассматривается как основание, с позиций которого осуществляется деятельность. «Это совокупность исследовательских или практических установок (идей,

¹⁴ Большой энциклопедический словарь (БЭС) – URL:<https://rus-big-enc-dict.slovaronline.com/> (дата обращения: 27.09.23).

¹⁵ Титова, Е. В. Проблемы выбора методологических подходов в педагогических исследованиях / Е. В. Титова // Сибирский педагогический журнал. – 2017. – № 2. – С. 7–14.

положений, принципов) вместе со способами и средствами изучения или преобразования объектов».¹⁶

Н. А. Лызь обращает внимание на сложность (отчасти дискуссионность) трактовки подхода как формы педагогического знания. С одной стороны, представляются очевидными его функциональное назначение и инструментальная направленность. С другой стороны в каждом из подходов кроме его инструментальной основы отображена соответствующая и определяющая этот инструментарий идейная установка, замысел, обновленный взгляд на рассматриваемое педагогическое явление. В силу этого каждый такой подход представляет собой особый способ изучения и преобразования данного явления. Именно по этой причине, будучи уже сложившимися в педагогической науке, методологические подходы составляют значимый пласт современного научно-педагогического знания.⁷ Примерами таких подходов являются *системный, модульный, компетентностный, индивидуальный* и многие другие, которые успешно используются в проектировании педагогических систем.

Представляя собой отличающийся от других способ изучения педагогических явлений, ни один из подходов при этом не может быть признанным в качестве универсального. Можно говорить о видовом разнообразии подходов.

Н. А. Лызь подчеркивает отличие *исследовательских* и *практических* подходов. Исследовательский подход, отражает принципиальную методологическую позицию исследователя, включающую особый научный ракурс рассмотрения явления и методы его изучения. Практический подход базируется на идее выбора приоритетных целей-ценностей деятельности, поиске рациональных путей и способов их достижения.⁸ К методологическим подходам, используемым в исследовательской (теоретической) деятельности, относятся: *феноменологический, структурный, деятельностный, личностный, компаративистский, аксиологический* и т.п. Такие подходы как *индивидуальный, личностно-ориентированный, компетентностный, комплексный, дифференцированный, модульный* и др. применяются в проективной практической педагогической деятельности. Некоторые из подходов в этом контек-

¹⁶ Лызь, Н.А. Виды и формы педагогического знания /Муниципальное образование: инновации и эксперимент. – 2014. – №6. – с. 40–45.

сте являются универсальными (например: *системный, праксеологический* и др.).¹⁷

Выделяется группа подходов, связанных с каким-либо приоритетным аспектом рассмотрения педагогического явления. Это *моноаспектные подходы*: деятельностный, личностный, структурный, целостный, комплексный, ценностный, параметрический и др. Используются и *полиаспектные подходы*, чаще включающие во взаимосвязи лишь два аспекта рассмотрения педагогического явления (*лично-деятельностный, системно-деятельностный, модульно-компетентностный, экзистенциально-гуманистический* и др.)

Подходы отличаются уровнем обобщенности знаний, на основе которых они строятся, и соответственно уровнем обобщенности их методологического функционала. Н. В. Ипполитова выделяет *философский уровень обобщения* («философско-прескриптивный»), *общенаучный и конкретно-научный уровни* («концептуально-дескриптивные») и *уровень методики и техники исследования/проектирования* («процессуально-праксеологический» или инструментальный).¹⁸ В свою очередь подходы, относящиеся к общенаучному или конкретно-научному уровням обобщения, могут базироваться как на эмпирическом, так и на теоретическом знании и методах исследования.

Кроме того, имеет место метаяровень обобщения педагогического знания – *парадигмальный*, характеризующий максимальный масштаб рассматриваемой педагогической реальности. Концепции, теории, подходы, в педагогическом знании зарождаются и формируются в каждый исторический период, как правило, в рамках актуальных *образовательных парадигм*. Для проектируемых образовательных практик на различных этапах исторического развития характерна полипарадигмальность. Известны знаниевая и культурологическая парадигмы образования, технократическая и гуманистическая, социетарная и антропологическая (или человеко-ориентированная), педоцентристская и детоцентристская.¹⁹ Важно отметить, что любой конкретный методологический подход – это всегда *комплекс* парадигматических,

¹⁷ Титова, Е. В. Проблемы выбора методологических подходов в педагогических исследованиях // Сибирский педагогический журнал. – 2017. – № 2. – С. 7–14.

¹⁸ Ипполитова, Н. В. Сущность и функции методологического подхода в педагогическом исследовании // Преподаватель XXI век. – 2011. – №3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-i-funktsii-metodologicheskogo-podhoda-v-pedagogicheskom-issledovanii> (дата обращения: 07.11.2023).

¹⁹ Мынбаева, А. К. Современные образовательные концепции: учебное пособие. – Алматы: Қазак университеті, 2012. – 220 с.

синтагматических и прагматических структур и механизмов, имеющих место в педагогическом познании и/или практике²⁰

Особый интерес представляют *междисциплинарные подходы* к исследованию педагогических явлений. Возникновение и развитие таких подходов имеет под собой объективные основания, поскольку «... дисциплинарная ограниченность не позволяет составить целостное представление о многих сложных объектах исследования, в том числе и о человеке».²¹ К таким подходам, построенным на системе знаний, понятийном аппарате и методах деятельности разных научных дисциплин, относятся: аксиологический, праксеологический, антропологический, андрагогический, синергетический и др. Междисциплинарность подходов рассматривается не только как инструмент нахождения новых педагогических смыслов через синтез знаний о человеке, полученных в разных научных областях его изучения. Это еще и значимое «... условие повышения качества исследований, адекватности как конструируемой теории, так и проектируемой практики» (А. Grobler) [Цит. по: ¹³]. При этом справедливо отмечается, что «... односторонние связи педагогики с каждой отдельной из этих наук, без опоры на все остальные, будут причиной педагогического редуционизма» (L. Witkowski) [Цит. по: ¹³]. Сложные педагогические явления не могут быть полностью объяснены с помощью законов, свойственных лишь одной смежной науке. *В современной трактовке междисциплинарность рассматривается как конструирование описания педагогической реальности с учетом теоретического знания и методологических подходов, свойственных разным научным дисциплинам. Это связано с изучением человека как «... интегральной, биопсихосоциальной системы, являющейся предметом воздействия социальной и культурной жизни, мировоззренческих и аксиоматических систем, религии, идеологии и стилей жизни».*¹³

Междисциплинарный характер методологических подходов к исследованию педагогических явлений зародился и формировался в педагогической науке практически с самого начала ее возникновения. Педагогика в принципе рассматривается *как интегративная наука*, базирующаяся «...на знаниях,

²⁰ Словарь терминов по общей и социальной педагогике. – URL: <https://rus-general-social-pedagog-terms Slo var online.com/486-%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%85%D0%BE%D0%B4> (дата обращения: 22.12.2022).

²¹ Савина, А. К. Междисциплинарные научно-педагогические исследования в современной Польше: реальность и риски // Отечественная и зарубежная педагогика. – 2018. – №1 (46). – С. 44–59.

почерпнутых из других научных областей, прежде всего, гуманитарных и естественнонаучных, переосмысливает и профилирует их и придает им педагогическое значение с точки зрения процессов воспитания и обучения, индивидуального развития потенциала человека и его социально-культурной адаптации. Она интегрирует важнейшие результаты эмпирических и теоретических исследований, связывает их с организацией учебно-воспитательного процесса»¹³. Интегративный характер педагогики как области научного знания подтверждается отсутствием «чистых» теоретических педагогических знаний по образцу физики, биологии, социологии. Педагогические теории, как правило, конструируются на основе теорий и концепций других наук и, прежде всего, таких как *философия, антропология, аксиология, биология, психология и социология*. В «чистом» виде, как представляется, существует только эмпирическое педагогическое знание (*эмпирические основы педагогики*).

Значимость грамотного выбора учителем методологического подхода к проектируемой педагогической практике не требует специального обоснования. Является актуальной проблема реализации такого выбора.

Основу выбора (построения) методологического подхода составляют не только известные в педагогической науке подходы, но и вся система современного педагогического знания, включая в комплексе все уровни его обобщения: парадигмальный, философский, общенаучный и конкретно-научный, инструментальный. Как отмечалось выше, различают *исследовательские* подходы (феноменологический, структурный, деятельностный, личностный, компаративистский, аксиологический и др.), *практические*, реализуемые при проектировании педагогической практики (индивидуальный, личностно-ориентированный, компетентностный, комплексный, дифференцированный, модульный и др.) и *комплексные* (системный, праксеологический и др.)

В методологическом подходе находит отражение (так или иначе) весь этот комплекс структур и механизмов «производства» педагогического знания. Причем составляющие этого комплекса присутствуют в деятельности и мышлении педагога как в рефлекслируемом, так и в нерелфлекслируемом виде. Осознание подхода, как правило, имеет место в период его формирования. На этом этапе отчетливо вычлняются интересующие педагога-исследователя или педагога-практика педагогическое явление, способы и средства его

изучения и/или преобразования.²² В дальнейшем это забывается и, нередко, приобретает статус *педагогической традиции*, которая в ряде случаев при решении конкретных проблем бывает не всегда целесообразной для следования. Эту немаловажную особенность следует учесть при решении проблемы профессиональной методологической подготовки будущих учителей.

В трактовке Е. В. Титовой²³ методологический подход рассматривается как *регулятивное гностическое основание* деятельности (исследовательской, практической). Профессиональные ученые в своем исследовании могут опираться на уже известные методологические подходы, а также разрабатывать новые. Педагог-практик, как правило, использует в «готовом» виде уже сложившиеся подходы или их отдельные элементы.

Е. В. Титова обращает внимание на дифференциацию подходов, которые могут составить основу творческой деятельности педагога. Эти подходы отличаются *полнотой* и *особенностями* содержания гностической основы проектирования педагогического процесса. В качестве базы проектной деятельности могут быть выбраны отдельные составляющие известных методологических подходов, а именно: 1) элементы теоретического знания – *идеи, гипотезы, модели, отдельные положения теории*, а также *теории* в их полной версии для рассмотрения, анализа, описания какого-либо педагогического явления, проектирования, конструирования чего-либо; 2) *совокупность связанных способов деятельности* (методов, приемов, правил), соответствующих какой-либо идее, принципу, задаче; 3) *признак (особенность)* или *совокупность признаков качества* исследуемой /проектируемой деятельности, педагогического процесса, системы (например, междисциплинарность, практикоориентированность и др.).¹⁵

Учителю важно определиться, какие из этих оснований необходимы для достижения поставленной цели. Выбор одного из оснований определяет «мягкую» форму использования избранного методологического подхода. «Жесткая» форма соответствует комплексной реализации составляющих гностического основания избранного подхода и требует его основательного изу-

²² Словарь терминов по общей и социальной педагогике. – URL: <https://rus-general-social-pedagog-terms.Slovar online.com/486-%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%85%D0%BE%D0%B4> (дата обращения: 22.12.2022).

²³ Титова, Е. В. Проблемы выбора методологических подходов в педагогических исследованиях / Е. В. Титова. – Текст: непосредственный // Сибирский педагогический журнал. – 2017. – № 2. – С. 7–14.

чения и технологического освоения.¹⁵ «Мягкая» форма выбора методологического подхода ориентирует педагога на свободный поиск идей, методов и качественных характеристик проектируемого педагогического процесса, которые будучи непротиворечивыми в отношении друг друга могли бы обеспечить достижение поставленных целей. Этот поиск может охватывать не только известные в педагогической науке подходы, но и всю систему современного педагогического знания (*табл. 3, с.102-106*). Более того, предметом анализа в этом случае является как теоретическое педагогическое знание с его следствиями в виде моделей педагогического процесса, методик и технологий, так и эмпирическое педагогическое знание, базирующееся на выявленных в педагогической практике закономерностях. Комбинация составляющих педагогического знания в избранном учителем подходе к проектированию педагогической практики позволяет ему в итоге получить не только субъективно новые, но и объективно новые результаты.

На рисунке 7 (с. 110) представлена логико-графическая визуализация ориентировочной основы выбора (построения) учителем методологического подхода к проектируемой педагогической практике

2.5. КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИМУЛЯЦИИ В СИСТЕМЕ МЕТОДОВ И УРОВНЕЙ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

Значимость этого регулятива определяется необходимостью осознания учителем и учащимися компьютерного моделирования как особого (относительно самостоятельного) метода в системе методов научного познания. Данный регулятив образуют три регулятивные схемы.

Регулятивная схема 3.1 полезна для понимания места и роли компьютерного моделирования в системе методов научного познания. С этой целью характеристика методов исследования в области экспериментальной, теоретической и вычислительной физики дается в виде сравнительной схемы. Авторами учебных пособий предложены разные варианты таких схем (Е. С. Попов [111, с. 58], А. Н. Боголюбов [36, с. 26] и др.). В настоящем исследовании состав и содержание общих и отличительных признаков данных методов уточнены. Разработан визуальный методологический регулятив, демонстрирующий в сравнительной плоскости структурные компоненты этих методов и их взаимосвязи в системе уровней эмпирического и теоретическо-

го познания (рис. 8, с. 112). Показана особая роль физического опыта в этой сложной цепочке взаимодействия методов научного поиска.

Регулятивная схема 3.2. Эта схема (рис. 9, с. 113) предназначена для демонстрации места компьютерного моделирования в общем цикле научного познания. Центральная идея ее построения состоит в демонстрации того факта, что компьютерное моделирование не является автономным методом исследования. Его планирование и выполнение теснейшим образом связано с эмпирическим и теоретическим уровнями познания. Это особая «гибридная» форма научного метода – смешение теоретической концепции и эксперимента над математической моделью, ее реализующей и корректируемой в последовательных циклах моделирования на основе сравнения его результатов с данными физических экспериментов.

Компьютерный эксперимент является мощным инструментом получения широкого спектра следствий разработанной физической теории (*прямая задача*) для их последующей экспериментальной проверки. Его применение эффективно и для решения *обратной задачи*: построение на основе экспериментальных данных аппроксимационной математической модели явления (например, математического выражения, связывающего экспериментально найденные характеристики явления и характеристики внешних воздействий на него; определение по экспериментально найденным данным коэффициентов в этих математических выражениях). Решение обратной задачи может составить основу разработки или обновления теоретической модели явления (логика решения обратной задачи показана на рисунке 9 пунктирными линиями и стрелками).

Регулятивная схема 3.3. Важно рассмотреть место КС не только в структуре теоретического цикла познания, но и его возможную роль на эмпирическом уровне исследования. Для этого необходимо раскрыть «тонкую» структуру процесса познания этого уровня. Визуализация структуры эмпирического познания и место компьютерного эксперимента в ней показаны на рисунке 10 (с. 114).

Компьютерное моделирование на эмпирическом уровне может использоваться для ограниченного класса задач, связанных преимущественно с прогнозированием. Несмотря на простоту эмпирических законов, описывающих поведение отдельных объектов или их систем, численный расчет таких про-

гнозов может быть весьма трудоемким. В частности, приведенная на рисунке 28 компьютерная модель «Парабола безопасности» предназначена для решения задач именно такого типа. В этом случае компьютерное моделирование используется как эффективный инструмент прогнозирования характеристик явления и особенностей его протекания в различных условиях, в том числе в условиях, недостижимых в лабораторном эксперименте.

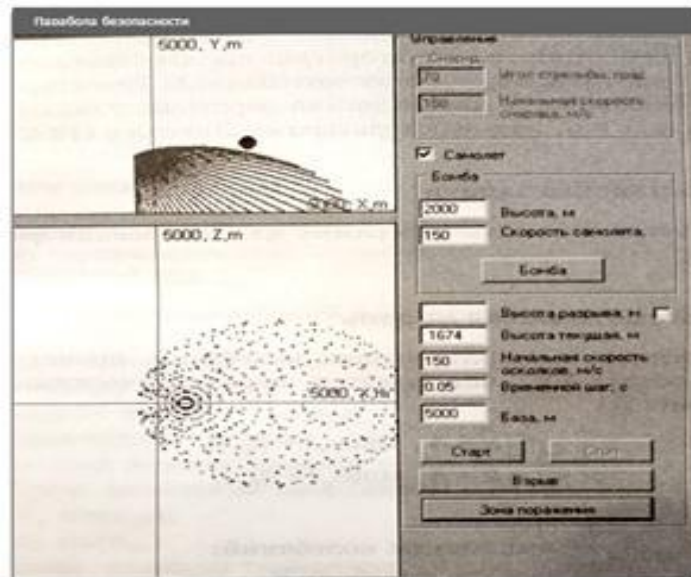


Рис. 28. Компьютерная модель «Парабола безопасности» [96, с.43]

Применение компьютерного моделирования на эмпирическом уровне целесообразно и для решения управленческих задач, например, нахождения оптимального режима постановки лабораторного физического эксперимента (прил.1 (1.6), с. 260–273).

2.6. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ С ОБОБЩЕННЫМИ ПЛАНАМИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Компьютерный эксперимент – это относительно самостоятельный этап в структуре компьютерного моделирования. Особенность его организации определяется предысторией познавательного опыта учащихся. Компьютерный эксперимент может проводить обучаемый, который создавал симуляцию собственноручно, и учащийся, который получил ее для исследования в «готовом» виде. Работа с КС в этих двух случаях будет иметь существенные различия. Это отмечено еще Р. Шенном, который писал: «Обучение моделированию не то же самое, что изучение конкретных моделей. По-видимому,

основой успешной методики моделирования должна быть тщательная отработка моделей. Начав с очень простой, постепенно продвигаются к более совершенной ее форме. Этот процесс совершенствования связан с постоянным взаимодействием и обратной связью между реальной ситуацией и моделью» [Цит. по: 111].

Компьютерное моделирование в его полной версии является достаточно сложной учебно-исследовательской задачей, к решению которой, как правило, привлекаются учащиеся, осваивающие курс физики на углубленном уровне. Важным является формирование представлений о данном методе и у учащихся, осваивающих программу по физике на базовом уровне. Для этих двух групп учащихся предлагается использовать разные варианты обобщенных планов проведения компьютерного эксперимента, адаптированные к уровню их подготовки

Вариант 1. *Выполнение компьютерного эксперимента в составе полного цикла компьютерного моделирования.* Если учащийся сам создавал компьютерную модель, то процедура выполнения эксперимента ему известна во всех деталях. На этапе построения физической модели обучающимся были определены цель и гипотеза исследования, вид модели, известные и искомые параметры исследуемого явления, необходимые допущения, возможные границы применимости модели и формы представления результатов моделирования. На этапе разработки алгоритма расчета математической модели явления фактически было выполнено планирование компьютерного эксперимента (т.е. определен порядок расчета модели и число его необходимых циклов). На этапе программирования учащийся создавал пользовательский интерфейс, определяющий диалог «пользователь – компьютер» для проведения компьютерного эксперимента, т.е. ему фактически известны все инструменты управления моделью. Имея такой уровень готовности, учащийся сразу может начинать работу с моделью с введения ее необходимых параметров и запуска цикла расчетов *первого этапа выполнения компьютерного эксперимента.*

Вычислительный эксперимент при организации учебного исследования учащимися этой группы связан не только с исследованием первоначально созданной модели, но и с постепенным ее уточнением, а именно с ее усложнением (приближением к оригиналу). Речь идет о построении и исследовании обучающимся иерархии (цепочки) математических моделей явления,

в которой собственно и реализуется процесс его познания (приближение к истине) [111, с. 142]. Кроме того, может потребоваться корректировка и вычислительного алгоритма модели и его программной реализации. Эти задачи решаются *на втором этапе компьютерного эксперимента*.

Завершается компьютерный эксперимент анализом результатов последовательных циклов моделирования и формулировкой выводов.

Вариант 2. *Исследование «готовой» компьютерной симуляции.* Если учащемуся предстоит работа с «готовой» моделью, в создании которой он не принимал участия, то процедура выполнения компьютерного эксперимента будет существенно иной. Первая версия обобщенного плана (ОП) работы с «готовой» компьютерной моделью физического явления представлена в исследовании Н. А. Оспенникова (2007 г.) [101], позднее в уточненном варианте данная версия приведена в нашей совместной работе [105]. В настоящем исследовании предлагается обновленная версия этого плана, построенная с учетом структуры и содержания обобщенной модели полного цикла компьютерного моделирования, обозначенного как *регулятив 4* (с. 37–39, с. 115).

Как видно из анализа структуры обобщенного плана работы с «готовой» КС (с. 63–69), ключевые элементы полного цикла компьютерного моделирования в данном плане сохранены. Это определяется важностью формирования у учащихся верных общих представлений о данном методе научного познания. Некоторые из пунктов ОП обозначены (*), что свидетельствует об их потенциальной сложности. Это определяется как содержанием учебной темы, для освоения которой предназначена КС, так и уровнем подготовки учащихся к анализу предложенных им математических моделей физических явлений. В случаях повышенной физической и математической сложности исследуемой модели отмеченные (*) пункты ОП могут быть опущены.

Предлагаемый план работы с «готовой» моделью включает ряд этапов, предшествующих непосредственному проведению компьютерного эксперимента. Это пункты 1–3, связанные с анализом физической и математической моделей исследуемого явления. Их выполнение направлено на содержательную подготовку учащихся к проведению КВЭ. Могут быть реализованы разные способы такой подготовки. Например, возможна обучающая демонстрация учителем образца выполнения пунктов 1–3 обобщенного плана. В некоторых случаях целесообразна совместная работа учащихся с учителем, на-

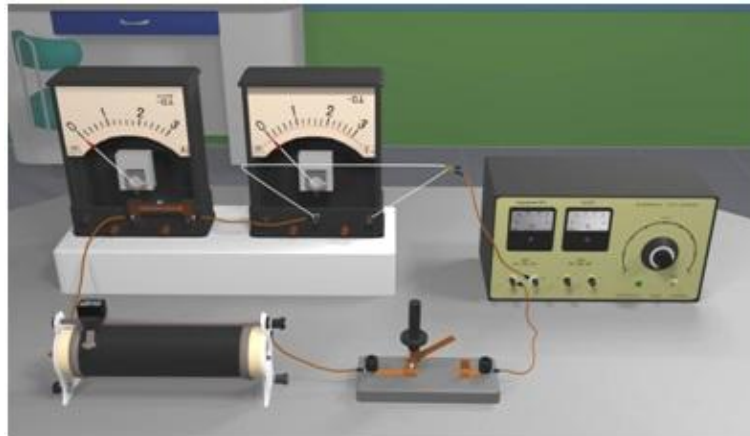
пример на основе проблемной беседы. Если задача не является сложной, то школьникам может быть предложена самостоятельная проработка этих пунктов ОП. Полезно с этой целью подготовить соответствующие текстовые учебные материалы, к которым учащиеся могут обратиться в случае возникновения затруднений. Благодаря наличию подготовительных этапов работы у учащихся не только формируется адекватное представление о компьютерном моделировании как методе познания, но и существенно углубляется понимание основ физики, совершенствуется практика применения математического аппарата для ее изучения.

Возможны два способа организации работы с этим обобщенным планом

Первый способ относится к работе с симуляцией, имеющей, характерный для КВЭ классический абстрактный интерфейс. Пример такого интерфейса представлен на рисунке 6 (п.1.3.3, с. 83). *Второй способ* используется для работы с компьютерной симуляцией вида УВЛЭ с интерфейсом виртуального симулятора физического эксперимента (так называемый «скрытый» вычислительный эксперимент) (п. 1.3.3, рис.5, с. 82).

Выполнение компьютерного эксперимента на симуляторе УФЭ (вида УВЛЭ) отличает особый характер взаимодействия «пользователь – компьютер» Так, например, ввод данных осуществляется за счет квазиреалистичных манипуляций учащегося с графическими объектами экспериментальной установки (например, смена резистора, изменение положения движка реостата, включение дополнительного источника тока, изменение шунтирующего сопротивления и т. п.) (рис. 29). Выходные данные компьютерного эксперимента представлены в этом случае показаниями физических приборов, изменением характера протекания явления, сменой взаимного положения исследуемых объектов и пр. Логика выполнения компьютерного эксперимента на симуляторе не отличается от логики работы на модели с классическим интерфейсом. И в том, и в другом случаях планирование и выполнение работы по исследованию модели осуществляется в соответствии с логикой проведения лабораторного физического эксперимента, с которой учащиеся уже знакомы. Отличие состоит лишь в том, что при работе с симулятором учащемуся, как и при проведении физического эксперимента, необходимо будет самостоятельно фиксировать и вносить в таблицы результаты исследования, пользоваться опцией построения графиков, выполнять обработку данных

(возможно, с использованием предложенных в симуляторе инструментов или внешних программных приложений, а также в ряде случаев вручную) и т.п. Это более протяженный во времени процесс.



а)

Значение цены деления C , а также предел измерения Π для исследуемого амперметра занесите в таблицу.

Таблица

Изменение пределов измерения амперметра
($I = 1\text{ A}$, $I = \text{const}$)

№ пп	Длина шунта, м.	Отклонение стрелки, число делений	Цена деления C , А	Предел измерения Π , А
1	0,36	5,0	0,2	3,0
2	0,18	2,5	0,4	6,0
3	0,72	10,0	0,1	1,5

4. Убедитесь, что основной по величине ток проходит именно через шунт, поскольку его сопротивление много меньше сопротивления прибора. Для этого, не размыкая цепи, отсоедините *исследуемый амперметр* от шунта. Обратите внимание, что при этом показания *контрольного амперметра* практически не изменились.

б)

Рис. 29. УВЛЭ «Подбор шунта к амперметру», режим симулятора УФЭ: а) интерактивная учебная сцена, б) фрагмент интерактивной рабочей тетради (проект ст. В. А. Гришина, ПГГПУ, 2020)

Однако будучи пошаговым, детализированным, пропущенным через повторяющиеся осознанные действия и операции, выполняемые в индивидуальном темпе, этот процесс с точки зрения усвоения процедуры компьютерного эксперимента и способов получения его результатов может оказаться для целого ряда обучающихся существенно более продуктивным в познавательном отношении. По мере накопления опыта такой работы им будет понятно, что многие рутинные операции такого эксперимента можно и нужно передать для выполнения компьютеру. В этом они могут убедиться при работе на этой же модели, но с ее абстрактным интерфейсом (рис.30).

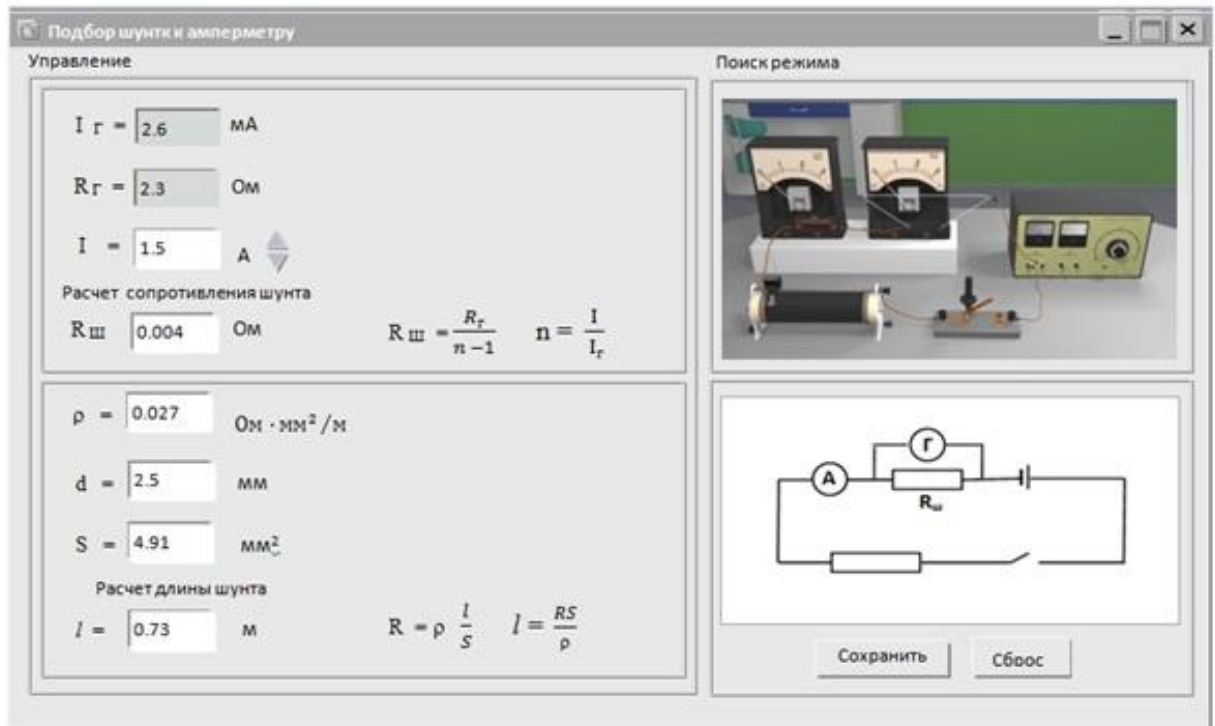


Рис. 30. УВЛЭ «Подбор шунта к амперметру», режим компьютерного эксперимента (проект ст. В. А. Гришина, ПГГПУ, 2020)

Важным итогом выполнения компьютерного эксперимента на модели с любым интерфейсом должно стать понимание учащимися гипотетичности полученных в ходе моделирования результатов исследования и необходимости проверки их достоверности в лабораторном физическом эксперименте.

2.7. СТАДИИ И ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПО ФИЗИКЕ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

(примеры реализации)

Рассмотрим содержание стадий и этапов проектирования педагогической практики (ПП) (*методологический регулятив 15*) на примере решения проблемы включения в учебный процесс по физике в средней школе компьютерного моделирования как метода познания. Регулятивная схема данного инструмента проектирования приведена на рисунках 14–15 (с. 127).

1. Инициирование проекта. *Первый этап* этой стадии связан с обнаружением в рамках актуального для учителя направления педагогической практики каких-либо противоречий. Выполняется их фиксация и объективация (осознание и речевое обозначение). Данные противоречия являются источни-

ком зарождения проектной деятельности по преобразованию педагогической практики. Вхождение в данный этап и его продолжительность определяется, с одной стороны, заинтересованностью учителя в результативности своей деятельности, его способностью к профессиональной рефлексии и стремлением к реализации своего творческого потенциала, с другой – стимулирующими внешними управленческими воздействиями администрации и педагогического коллектива школы. В нашем случае работы со студентами реализуется второй способ вхождения.

Пример объективации противоречий: 1) между системой методов научного познания, применяемых в современной физике, и системой методов учебного исследования, обозначенных в действующих образовательных программах обучения физике в средней школе, не включающих компьютерное моделирование в состав этой системы; 2) между реализуемой в курсе информатики средней школы подготовкой учащихся в области компьютерного моделирования и отсутствием в массовой учебной практики его использования в курсе физики как актуальной предметной области применения данного метода познания; 3) между наличием в цифровой образовательной среде компьютерных симуляций физических явлений (объектов, процессов) и сложившейся практикой их применения при обучении физике, не отвечающей в достаточной мере задачам формирования у учащихся представлений о компьютерном моделировании как методе познания; 4) между высоким методологическим функционалом компьютерных симуляций физических явлений, как эффективного инструмента познания, и недостаточной реализацией данного функционала в актуальной базе таких компьютерных симуляций, разработанных для обучения физике в средней школе.

Состав противоречий педагогической практики может быть несколько иным. Тем не менее в предложенных формулировках, так или иначе, отражена потенциальная неудовлетворенность будущего учителя актуальной педагогической практикой, а также первичная фиксация в общих чертах *объекта проектирования*. Согласно содержанию приведенных выше противоречий таким объектом является: процесс обучения физике в средней школе с применением компьютерного моделирования как метода познания.

Концентрированным выражением смысла выявленных противоречий является их обобщенная интерпретация в виде формулировки базовой (ис-

ходной) проблемы педагогической практики. В этой проблеме, как отмечает И. А. Колесникова, отражается «природа и форма существования противоречий» педагогического процесса, в явном виде «... обозначается разрыв действительного и желаемого как неизвестного, пока скрытого, требующего поиска» [71, с. 88]. В формулировке базовой проблемы педагогической практики зарождается ее будущий (желаемый) преобразованный образ.

Пример формулировки базовой проблемы актуальной педагогической практики: *каким образом компьютерное моделирование может быть включено в учебный процесс по физике в средней школе с целью его освоения обучающимися как метода познания?*

На *втором этапе* предстоит определить комплекс проблем, решение которых так или иначе связано с разрешением базовой проблемы ПП. Это этап проблематизации, выявления (в терминологии И. А. Колесниковой) «проблемного поля» проекта. «Наличие поля проблем дает первоначальное панорамное представление о границах, характере, масштабах, объеме и структуре возможной проектной деятельности» [71, с. 89].

В процессе проектирования состав обозначенных проблем может уточняться, пополняться, переопределяться. Важна систематизация элементов «проблемного поля» проекта, в частности построение иерархии обозначенных проблем, выделение их однородных групп, ранжирование и т.п. Итогом должно стать определение приоритетных проблем, решение которых будет в первую очередь обеспечивать требуемое изменение практики обучения.

Пример построения ранжированного перечня проблем проектирования.

1. Каков приобретенный при изучении курса информатики уровень потенциальной готовности учащихся (их знаний и умений) к применению метода компьютерного моделирования в изучении физических явлений (в основной и старшей школах)? 2. Каковы возможные линии реализации в этом направлении межпредметных связей физики и информатики? 3. Каким образом при включении компьютерного моделирования в учебный процесс по физике обеспечить не только расширение представлений учащихся относительно области применения данного метода познания, но способствовать на этой основе углублению их знаний и совершенствованию методологической подготовки по предмету в целом? 4. Каковы особенности применения данного метода при обучении физике на его базовом и профильном уровнях (специфика со-

держания, методов и средств обучения)? 5. Каковы в решении задачи освоения учащимися опыта компьютерного моделирования возможности цифровых учебных ресурсов по физике («готовых» компьютерных симуляций, модельных конструкторов), представленных в открытой цифровой образовательной среде? Каковы требования к отбору компьютерных симуляций физических процессов для решения этой задачи? 6. Каким должно быть дидактическое обеспечение самостоятельной работы учащихся в области компьютерного моделирования физических процессов? 7. Какими должны быть формы и методика организации учебных занятий, включающих применение данного метода в изучении физических процессов (на базовом, профильном уровнях)? Целесообразно ли построение системы таких занятий (в основной и старшей школах)? Какие требования должны предъявляться к данной системе? 8. Является ли актуальной проблема самостоятельной разработки учителем авторских учебных компьютерных симуляций, каковы виды таких симуляций и требования к качеству их разработки? 9. Возможно ли привлечение к разработке компьютерных симуляций для учебного процесса по физике отдельных групп учащихся?

Этап проблематизации так или иначе связан формированием общего замысла (идеи) преобразования объекта проектирования. Именно в ходе процедуры проблематизации и системного конструирования «проблемного поля» создаются информационные условия для выделения *предмета проектирования*, т.е. выполняется конкретизация того, что именно хотелось бы создать. Образ преобразованной педагогической практики – это фактически и есть общий замысел (идея) проекта. В рамках систематизированного «проблемного поля» проектной деятельности педагогом в целом осознается логика движения к реализации этого замысла [71, с. 86, с. 89].

Для продуктивной проектной практики характерна «пошаговость» (дискретность) ее развития. Поэтому на этом этапе, как правило, выполняется не только построение проблемного поля, но и последующее ограничение проблематики проектирования. Это происходит на основе первичного анализа имеющегося в распоряжении учителя научно-педагогического знания по решению обозначенного комплекса проблем. По результатам этого анализа и в зависимости от собственных наличных ресурсов (временных, материальных, интеллектуальных) уточняется число направлений разработки исходной

проблемы, соответственно уточняется предмет проектирования и корректируется общий замысел проекта, который пока существует в форме недифференцированного (недетализированного) образа.

Пример определения *предмета проектирования*. Разработка содержания, методов и средств организации учебных занятий одной из организационных форм, в частности лабораторного практикума, включающего освоение учащимися начального опыта компьютерного моделирования физических процессов. Работа на этой стадии строится в опоре на *регулятив 1*

2. Концептуализации проекта. Данная стадия является основной. Используется два ее обозначения. Второе – *разработка концепции проекта* – применяется, как правило, для инновационных и достаточно масштабных проектов. Стадия концептуализации включает несколько этапов.

На *первом этапе* дается ценностно-смысловая оценка замысла проекта. Уровень и масштаб критического анализа могут быть различными и варьироваться от конструктивного самоанализа и обсуждения в студенческой группе до оценки на научно-методическом семинаре Лаборатории ЦОР и педагогического проектирования, заседании предметного методического объединения или в педагогическом коллективе образовательного учреждения. Инициатором проекта должны быть обозначены достоинства его основной идеи (замысла), значимость ожидаемых результатов, выполнено соотнесение их ценности «... с ценностными рядами той области действительности, куда входит проектируемый объект», выявлены возможные противоречия в реализации проекта, спрогнозированы факторы противодействия и риски негативных последствий [71, с. 91]. Доказательность позиции автора идеи является сильным мотивирующим фактором проектной деятельности, привлечение к проектированию коллег по работе.

На *втором этапе* формулируются цели проекта, процесс «кристаллизации» которых начинается еще на этапе проблематизации. По его итогам формируется ясное понимание состава приоритетных проблем и ожидаемых результатов их решения. «Цели, как предполагаемые идеальные результаты, должны быть конкретны, реальны и направлены на разрешение противоречий (проблем), вызвавших необходимость проектирования и являющихся исходным моментом в рождении проектного замысла» [71, с. 92].

Пример формулировки цели проектирования. Разработать содержание и методику организации цикла лабораторных работ практикума, включающих проведение компьютерного эксперимента по исследованию физических процессов (на примере курса физики 10–11 классов, базовый уровень), и обеспечить на его основе формирование у учащихся средней школы: 1) начальных представлений о компьютерном моделировании физических процессов как методе познания; 2) готовности к самостоятельному выполнению компьютерных экспериментов с использованием «готовых» компьютерных симуляций.

Данный пример постановки цели проектирования демонстрирует ограничение проблематики проектирования. Выбрано одно из наиболее очевидных направлений решения базовой проблемы. Это обучение школьников выполнению компьютерных экспериментов (т.е. компьютерному моделированию в его неполном объеме) в рамках традиционной формы учебных занятий – лабораторного практикума по физике. При этом требуется существенное преобразование содержания данного практикума, методики его проведения, а также аппаратного, программного и дидактического обеспечения.

Постановка цели проекта должна сопровождаться определением критериев успешности их достижения.

Пример формулировки критериев оценки успешности проекта: 1. Качество усвоения учебного материала по физике, освоение которого осуществлялось с применением компьютерного эксперимента. 2. Уровень сформированности умений, которыми должны овладеть учащиеся в ходе лабораторных работ, включающих выполнение компьютерного эксперимента. 3. Обновление методологической подготовки учащихся: осознание общей структуры и логики проведения компьютерного эксперимента, его взаимосвязи с методами теоретического познания и экспериментальными исследованиями. 4. Количество лабораторных работ, включающих проведение компьютерного эксперимента, достаточных для достижения поставленной цели обучения. 5. Рост интереса учащихся к занятиям лабораторного практикума в его обновленном варианте.

Соответственно данным критериям разрабатываются показатели результативности реализации будущего проекта.

На *третьем этапе* выполняется поиск оснований для формирования достаточно ясных контуров идеального образа предмета проектирования (т.е. предлагаемой модели обновленной педагогической практики). Это процесс обстоятельного углубления в содержание *замысла* проекта, связанный с *изучением и анализом научно-педагогического знания* (его эмпирических основ, теорий, близких или альтернативных педагогических концепций), результатов междисциплинарных педагогических исследований, а также специального фундаментального и прикладного научного знания. Целями этой работы является: 1) сбор информации об объекте проектирования для формирования *целостного представления* о его природе структуре, функциях, особенностях развития; 2) выявление и анализ возможных *методологических подходов* к его рассмотрению для последующего определения авторского проектного подхода; 3) освоение *научного понятийного аппарата* проекта, формирование его основного тезауруса.

Данный этап является весьма протяженным по времени, наиболее трудозатратным и интеллектуально емким. Ориентировочной основой для работы с системой современного педагогического знания может служить *регулятив 1* (с.101). Содержание и логика формирования разработчиком методологического подхода к проектированию обновленной педагогической практики представлены *регулятивом 2* (с.107). Как правило, учителем осуществляется выбор «готового» методологического подхода к построению модели будущей практики или выполняется его конструирование из элементов уже известных подходов. Реализуемый методологический подход, с одной стороны, является «инструментом» разработки авторского замысла проекта, с другой – выполняет функцию его научного обоснования (эмпирического, теоретического).

Пример. Относительно рассматриваемой практики организации компьютерного моделирования при обучении физике при выборе методологического подхода предметом анализа могут стать системный, деятельностный, индивидуальный и дифференцированный, модульный подходы и теория проблемного обучения.

На *четвертом этапе* складывающийся образ обновленной педагогической практики должен обрести конкретные формы в виде модели. Добытое из разных источников и структурированное научно-педагогическое знание

об объекте проектирования составляет основу построения этой модели. Принципы и методы проектирования определяются избранным разработчиком методологическим подходом. В модели в концентрированном выражении отображаются используемые автором проекта теоретические и методологические основы проектирования.

Модель дает целостное представление об объекте проектирования и тенденциях его развития. Это структурно-системное, структурно-содержательное и структурно-функциональное описание объекта проектирования. Структура, содержание и функционал модели представляют собой принципиальное решение базовой проблемы педагогической практики, ориентированное на обеспечение ее нового качества. Модельное описание объекта может быть различным: в виде текста, алгоритма, программы, чертежа, граф-схемы, таблицы. Возможен комбинированный вариант (В. М. Розин) [117].

Моделирование осуществляется в опоре на уже имеющиеся модели (прототипы), знания и нормы их построения (так называемый *традиционный тип проектирования*) или выполняться в их отсутствии (*нетрадиционное проектирование*). В случае примера проекта, рассматриваемого выше, мы имеем дело с традиционным проектированием. Как отмечалось, ранее для учащихся профильных классов уже были разработаны спецпрактикумы и спецкурсы по физике, включающие компьютерное моделирование. Имеется опыт организации таких занятий в высшей школе. В достаточно полном объеме разработана методика организации традиционного лабораторного физического практикума как формы обучения. Однако, это всего лишь прототипы отдельных составляющих будущего проекта. В нашем случае речь идет о включении элементов компьютерного моделирования в традиционный лабораторный практикум по физике для учащихся, осваивающих физику на базовом уровне.

В опоре на научно-педагогическое знание, а также на имеющееся прототипы учитель разрабатывает модель будущего объекта в трех его основных срезам. В модели должны быть заданы: 1) строение (структура) проектируемого объекта; 2) его работа в форме функций и процессов; 3) программа создания, адресованная тем, кто будет включен в проект и его последующую реализацию [48, с. 20, 29, 34, 63].

В работе А. М. Новикова, Д. А. Новикова указываются методы моделирования, приводится их характеристика. К ним относятся: метод сценариев, графические методы, метод структуризации, метод дерева целей или целей и функций, морфологический метод, деловые игры, метод мозгового штурма, метод Делфи, метод синектики и др. [98, с. 88].

Пример. Рассмотрим в общих чертах возможную модель проектируемой практики, связанной с разработкой лабораторного практикума по физике с применением элементов компьютерного моделирования (уровень базовой подготовки обучающихся).

Строение объекта.

Практикум как форма учебного занятия: 1) характеристика лабораторного практикума по физике как формы обучения в составе ее структурных элементов; 2) система лабораторных экспериментов практикума; 3) система тематически связанных с лабораторными экспериментальными заданиями «готовых» компьютерных симуляций для проведения вычислительных экспериментов; 4) структура лабораторного и компьютерного (аппаратного, программного, сетевого) обеспечения практикума; 5) система дидактического обеспечения практикума (инструктивные материалы, задания учебно-исследовательского типа для проведения лабораторных и компьютерных экспериментов и др.), модульный подход в его формировании.

Структура учебной деятельности: 1) структура уровней и этапов научного познания, место физического и компьютерного экспериментов в данной структуре, 2) структура учебного физического эксперимента; 3) структура учебного компьютерного эксперимента.

Виды компьютерных симуляций физических процессов, используемые в практикуме: 1) симуляции для выполнения вычислительного эксперимента; 2) симуляторы физического эксперимента, в том числе реализующие «скрытый» вычислительный эксперимент.

Работа объекта в форме функций и процессов. Обновленная практика организации лабораторного физического практикума будет обладать следующим функционалом: 1) демонстрация учителем структуры и логики научного познания, места физического и компьютерного экспериментов в данной структуре; объективация методологических функций компьютерного моделирования; обсуждение обобщенного плана компьютер-

ного моделирования и демонстрация на его основе процедуры выполнения компьютерного эксперимента; 2) дифференциация учащихся по уровню их готовности к выполнению учебных заданий разной сложности, связанных с компьютерным моделированием; 3) реализация репродуктивной и учебно-исследовательской деятельности по выполнению физического и компьютерного экспериментов на основе обобщенных планов учебной деятельности; формирование у учащихся конкретных и обобщенных познавательных и практических умений; 4) использование различных форм интеграции физического и компьютерного экспериментов; 5) учет в системе учебных заданий разнообразия методологических функций компьютерного моделирования физических процессов; 6) реализация дидактических функций компьютерных моделей физических процессов, в том числе на основе применения компьютерных симуляторов физического эксперимента с целью подготовки учащихся к занятиям практикума или закрепления приобретенных знаний и экспериментальных умений, а также расширения опыта экспериментальной деятельности; 6) обеспечение текущего и итогового контроля знаний и умений учащихся в соответствии с программой практикума; 7) реализация сетевой формы сопровождения лабораторного практикума.

Программа разработки проекта: 1) отбор компьютерных симуляций для вычислительного эксперимента, а также компьютерных симуляторов физического эксперимента, обладающих достаточным методологическим и дидактическим потенциалом; определение состава и тематики компьютерных симуляций для авторской разработки учителем; 2) соотнесение тематики лабораторных экспериментов практикума и содержания вычислительных экспериментов, реализуемых с применением «готовых» КС; формирование на этой основе обновленной программы практикума; 3) подготовка учебно-исследовательских заданий; конкретизация форм интеграции лабораторных и вычислительных экспериментов в рамках отдельных работ практикума; разработка инструктивных материалов к работам практикума на основе обобщенных планов физического и компьютерного экспериментов; 4) разработка к лабораторным работам практикума цифровых учебных материалов на основе модульного подхода к их организации; 5) подготовка приборного, аппаратного, программного и сетевого обеспечения практикума; 6) разработка методики и технологии проведения занятий практикума, вклю-

чающего выполнение учащимися физических и компьютерных экспериментов и ориентированного на формирование у них в освоении данных методов конкретных и обобщенных умений; 7) построения системы диагностики результативности формирования у учащихся представлений о компьютерном моделировании как методе познания и освоения начального опыта выполнения компьютерного эксперимента по исследованию физических процессов, а также диагностики качества усвоения учебного материала по физике.

Процесс моделирования обновленной педагогической практики базируется на *методологических регулятивах 1–15*.

Моделирование будущей практики, как правило, включает разработку ее нескольких вариантов, которые впоследствии подвергаются критическому анализу с точки зрения: 1) их адекватности поставленной цели; 2) ценностно-смыслового наполнения и теоретико-методологического обоснования; 3) возможностей ресурсного обеспечения, 4) затрат на разработку. К критериям выбора могут быть отнесены выделенные А. М. Новиковым признаки практичности: надежность, адаптивность, многоцелевая пригодность [98, с. 58].

Пример. По отношению к приведенному выше варианту модели лабораторного практикума может рассматриваться ряд ее вариаций, *например*, модели, реализуемые: без сетевого сопровождения; на основе только репродуктивной деятельности учащихся; в отсутствие модульного подхода к разработке дидактических материалов; без использования компьютерных симуляторов физического эксперимента и т.п.

Для снижения влияния субъективного фактора влияния на принятие окончательного решения об оптимальном выборе используются разнообразные *методы экспертной оценки* предложенных вариантов моделей проектируемой практики. По итогам анализа данных вариантов на основе указанных выше критериев принимается решение в отношении одного из них. Некоторые из вариантов модели могут быть определены как перспективные для разработки в будущем.

Пятый этап стадии состоит в определении стратегии проектирования. Это заключительный этап концептуальной стадии разработки проекта. Суть стратегии проектирования связывают с определением состава и последовательности основных этапов преобразования модели будущей педагогической

практики в готовый проект, которые охватывают все основные аспекты его выполнения и обеспечивают достижение поставленных целей.

Разработка стратегии проектирования базируется на анализе основных блоков модели проекта (структурном, функциональном и программном). Различают стратегии восходящего и нисходящего проектирования, т.е. от базовых элементов проекта, которые разрабатываются с учетом его общих целей, к основным блокам или соответственно в обратном направлении. Каждая из стратегий имеет определенные недостатки и риски. На практике нередко используют сочетание указанных стратегий. На основе избранной стратегии проектирования определяются его этапы с указанием задач и конечного «продукта», которым завершается каждый этап. Главное требование к постановке задач – это их конкретность и обозримость результата решения на соответствующем этапе проектирования (что и для чего делается).

3. Конструирование. Эта стадия связана с проектированием на основе разработанной модели педагогической практики ее конкретных блоков и составляющих их элементов. Структура стадии представлена в работе [98]. Авторы выделяют в ее составе четыре этапа: 1) *декомпозиция*: анализ модельного описания проектируемой системы, формулировка и решение иерархической системы задач и подзадач разработки проекта; 2) *агрегирование*: содержательное согласование решений отдельных задач в их общей системе; 3) *исследование условий реализации модели*: оценка соответствия решений каждой конкретной задачи проекта конкретным условиям, имеющимся в педагогических реалиях; определение необходимости создания дополнительных условий для их реализации (информационных, научно-методических, мотивационных, организационных, материально-технических, финансовых, нормативно-правовых, кадровых и др.); 4) *планирование реализации проекта*: разработка конкретного плана действий по реализации модели обновленной педагогической практики в определенных условиях в установленные сроки [98, с. 62–68]. На данной стадии используются *методологические регулятивы 2–14*.

4. Технологическое обеспечение проекта. Это завершающая стадия проектирования. На этой стадии в рамках плана реализации проекта осуществляется подготовка к применению (оформление) учебных и учебно-методических материалов: учебных программ, дидактических материалов для учащихся, цифровых ресурсов, методических рекомендаций, включая разра-

ботки учебных занятий по предмету и т.п. Технологическое обеспечение проекта соотносится с содержанием полного комплекса регулятивов (2–14).

2.8. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПРОДУКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ, СОДЕРЖАНИЕ И КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

Истоки зарождения практики продуктивного обучения восходят к трудам зарубежных и отечественных педагогов-исследователей (Д. Дьюи, Е. Коллингс, У. Килпатрик, С. Френе, В. Лай; П. П. Блонский, К. Н. Вентцель, С. И. Гессен, А. У. Зеленко, А. С. Макаренко, Л. П. Толстой, С. Т. Шацкий). Идея обучения, основанная на активной трудовой деятельности под руководством наставников, являлась в тот период (вторая половина XIX века и первая треть XX столетия) общей в их взглядах. Главный принцип такого обучения – это «обучение через деятельность (делание)» (от англ. «learning by doing», Дж. Дьюи), в рамках которого учащиеся приобретают необходимые им знания и социальный опыт.

В своем современном понимании технология продуктивного обучения (PL – сокр. от англ. Productive Learning,) начала формироваться в 70-х гг. XX столетия (О. Домброу, Ф. Кури и Р. Сафран, США). В Европе освоение данной технологии относится к 90-м годам XX века (Й. Шнайдер, И. Бём, Германия). Идеи продуктивного обучения нашли своих сторонников и в России. В 1993 г. был образован Санкт-Петербургский институт продуктивного обучения Российской академии образования, возглавляемый М. И. Башмаковым.²⁴

Содержание понятия «продуктивное обучение» впервые было определено на Втором конгрессе INEPS (Португалия, 1992 г.). Продуктивное обучение рассматривалось как «...образовательный процесс, приводящий к развитию роли личности в сообществе (социуме) одновременно с изменениями в самом сообществе (социуме). Этот процесс реализуется в виде маршрута, образованного действиями, ориентированными на получение продукта в ситуациях реальной жизни с помощью группового образовательного опыта, проведение которого облегчается участием педагогов». К существенным признакам PL были отнесены: 1) ориентация на развитие личности обучаемого;

²⁴ Башмаков, М.И. Что такое продуктивное обучение? /М.И. Башмаков // Теория и практика продуктивного обучения: Колл. монография. – М.: Народное образование, 2000. – С. 6–14.

- 2) адаптивность обучения в отношении индивидуальных особенностей личности; 3) социальный и профессиональный характер развития обучаемого; 4) изменение роли педагога.¹⁵

Уточненное определение понятия «продуктивное обучение» было дано на одиннадцатом конгрессе INEPS (Берлин, 1999 г.). Это определение имело описательный характер (через характеристику целей и условий реализации): «Продуктивное обучение нацелено на приобретение жизненных умений, иницирующих личный рост и индивидуальное развитие, межличностное общение и взаимодействие, а также самоопределение его участников. Как образовательный процесс продуктивное обучение реализуется в рамках индивидуального пути, выстроенного последовательностью шагов, где каждый шаг имеет хорошо определяемый результат, так как является продуктивно ориентированной деятельностью в реальной жизненной ситуации» (М. И. Башмаков, Й. Шнайдер) [31, с. 60].

В наиболее структурированном варианте характеристика результата продуктивного обучения представлена в работе Г. К. Селевко. Данный результат рассматривается автором в трех измерениях, а именно это: 1) конкретный продукт (материальный, интеллектуальный, духовный) как итог созидательной деятельности субъекта; 2) «продуктивность мышления» как качество его интеллектуальной деятельности; 3) социальный продукт «в виде судеб людей и сообществ» как самоопределение и самореализация обучающихся [125, с. 408]. Однако это не в полной мере соответствует целевым установкам PL, сформулированным авторами этой педагогической системы.

Взгляды исследователей на сущность и образовательный потенциал продуктивного обучения находятся в постоянном развитии. Дискутируются его методологические основы (М. И. Башмаков, И. Бем, Е. Н. Васильева, Ф. Н. Козырев, С. В. Литвиненко, В. А. Поляков, Г. К. Селевко, С. Н. Чистякова, Й. Шнайдер, Н. Б. Яновская и др.) уточняются представления о целях продуктивного обучения, принципах и условиях организации (Н. И. Алмазова, М. И. Башмаков, М. А. Горяев, Т. Н. Ивочкина, Н. А. Кубракова, А. В. Рубцова, О. Г. Чамина, Д. Ю. Чупин и др.).

Ниже в *таблице 18* представлено содержание теоретико-методологического базиса данной системы обучения – *теории, концепции, подходы*, определяющие его значимый образовательный эффект.

Теоретико-методологические основы продуктивного обучения

Теории, концепции, подходы	Особенности реализации в условиях продуктивного обучения
1	2
<p><i>Деятельностный подход</i> (Л. С. Выготский, С. Л. Рубинштейн, А. Н. Леонтьев)</p>	<p>Человек через свою деятельность преобразует окружающий его мир и формирует собственную личность (принцип единства сознания и деятельности). От того в какие виды деятельности учащиеся оказываются включенными и каким образом эта деятельность организуется, определяется результативность их обучения, развития и воспитания. Объект продуктивной деятельности выбирается обучаемым самостоятельно и лежит в зоне его интересов. Необходимость в знаниях и умениях возникает из опыта продуктивной деятельности, а приобретенные ЗУНы применяются (формируются, отрабатываются, совершенствуются) при создании продукта. В созданном продукте отображены образовательные достижения обучаемого. Чем шире спектр создаваемых продуктов, выше уровень их сложности, тем богаче деятельностная основа развития личности учащегося.</p>
<p><i>Теории развивающего обучения</i> (С. Л. Выготский, С. Л. Рубинштейн, А. Н. Леонтьев, П. Я. Гальперин, Н. Ф. Талызина, Л. В. Занков, Д. Б. Эльконин)</p> <p>З. И. Калмыкова Е. Н. Кабанова-Меллер (теория умственной деятельности)</p> <p>Дж. Брунер (теория научения)</p>	<p>Индивидуальное развитие обучающегося невозможно понять без социокультурного контекста, в который он погружен. Высшие психические процессы индивида (критическое мышление, принятие решений, рассуждение) берут свое начало в социальных процессах. Благодаря взаимодействию с социокультурной средой элементарные психические функции превращаются в более сложные и эффективные стратегии и психические процессы. Деятельность – сознание – личность: сложная система взаимодействия, отображающая процессы развития индивида в социуме. Разработка продукта с конечными потребительскими свойствами осуществляется преимущественно на основе творческой познавательной и практической деятельности обучаемых. Проблемные ситуации, требующие нахождения решений в нестандартных ситуациях, в том числе с применением методов эвристики, являются эффективным средством развития продуктивного мышления обучаемых, их творческой активности и познавательной самостоятельности. Развиваются в комплексе все компоненты ее психологической структуры (мотивация, ориентировочная основа, «механизмы» исполнения, самоконтроль) Творческая деятельность в сотрудничестве с наставниками и консультантами – важное условие обеспечения работы обучаемых в «зоне ближайшего развития». Результатом этой работы является нахождение объективно (или «субъективно») новых решений практических задач, уровень сложности которых свидетельствуют о произошедших сдвигах в развитии личности.</p>

1	2
<p><i>Конструктивистский подход</i> (зарубежные исследования: Д. Дьюи, Ж. Пиаже, Х. Гарднер, Дж. Келли, Л. Хьелл, Д. Зиглер, С. Пайперт; отечественные исследования: Л. С. Выготский, П. Я. Гальперин, Т. В. Кудрявцев, В. В. Давыдов, Д. В. Эльконин, М. И. Махмутов)</p>	<p>С позиции конструктивизма учащийся есть саморазвивающийся и в значительной мере самоуправляемый субъект. Поэтапно создаваемый обучаемым продукт (как субъективно, так и, возможно, объективно новый) есть показатель приращения его образовательного опыта, возникающего как <i>результат саморазвития – «самоконструирования и самовозрастания знаний»</i>. Обучение в логике педагогического конструктивизма означает его сближение с логикой процесса исследования. Процесс начинается с анализа вопросов, порождаемых сформулированной задачей и незнакомой областью знаний, освоение которой необходимо для ее решения. Далее изучаются связанные с имеющейся проблемой факты, предпринимаются попытки расширить их круг, систематизировать, выйти на обобщения. Учитель должен увидеть в учащемся исследователя и организовать поиск решения поставленной проблемы с учетом его индивидуальных особенностей (личностных и когнитивных конструкторов), сложившихся под воздействием прежнего познавательного опыта.</p> <p>Это происходит под влиянием моделируемых педагогом задачных ситуаций и спонтанных текущих событий, генерируемых самим процессом практической работы учащегося по созданию продукта. Процесс обучения в целом управляем, но по содержанию, траектории реализации и результату обновления жизненного опыта учащегося является существенно индивидуальным.</p>
<p><i>Личностно-ориентированный подход</i> (Е. В. Бондаревская, Э. Н. Гусинский, Ю. И. Турчанинова, В. В. Сериков, И. С. Якиманская)</p>	<p>Обучаемый сам выбирает содержание практической работы и связанной с ним учебной деятельности исходя из собственных интересов и способностей, желания совершенствовать свой творческий потенциал в соответствующем направлении. Достижение цели – создание продукта – осуществляется на основе индивидуального образовательного маршрута. Обеспечивается индивидуальное педагогическое и профессиональное сопровождение деятельности каждого учащегося по избранному маршруту [31].</p>
<p><i>Концепция средоориентированного обучения</i> (В. И. Слободчиков, В. А. Ясвин и др.)</p>	<p>Социальное и пространственное окружение в разных средах порождают разные возможности для развития их личности. Обучаемые «погружаются» в новую для них среду, для которой характерны специфическая ресурсная база, непосредственное общение с профессионалами в избранной сфере деятельности, совместная работа в решении профессиональных проблем, включение в инновационные процессы организации (вуза, лаборатории, школы и т.п.). Это новое открытое социально-профессиональное пространство, в котором в ходе непосредственного общения и сотрудничества передается профессиональный опыт. Такая среда включает все уровни ее организации с существенно обновленным содержанием образующих ее компонентов и обеспечивает принципиально новые условия для формирования личности обучаемых, их социализации и профессионального самоопределения.</p>

1	2
<p><i>Компетентностный подход</i> (И. А. Зимняя, Дж. Равен, Н. В. Кузьмина, О. Е. Лебедев, М. И. Лукьянова, А. К. Маркова, Г. С. Трофимова, Н. Хомский, А. В. Хуторской, М. А. Чошанов, В. А. Якунин и др.).</p>	<p>В рамках этого подхода решаются задачи обеспечения глубокой адаптации обучающегося к особенностям избранной им области будущей профессиональной деятельности и формирования у молодежи трехуровневой системы знаний: концептуальных, процессуальных и контекстуальных. Последний из уровней отражает степень овладения учащимися умений использовать знания первого и второго уровней в решении конкретных практических задач (сформулированных в контексте разнообразных жизненных, в том числе профессиональных ситуаций) [104] Создаваемый обучающимся продукт, востребованный в конкретной сфере социальной практики, напрямую связан через качество своих потребительских свойств с ведущим признаком компетентности как характеристики личности, а именно с умением обучающегося успешно решать конкретные задачи в соответствующей сфере профессиональной деятельности.</p>
<p><i>Контекстный подход</i> (А. А. Вербицкий, О. Г. Ларионова, В. Г. Калашников и др.)</p>	<p>Контекстный подход тоже имеет своей целью формирование готовности обучающихся к решению практических задач в различных сферах жизнедеятельности, но связан с перестройкой содержания обучения, которая будет максимально способствовать достижению этой цели. Цель контекстного обучения состоит в том, чтобы помочь обучающемуся найти смысл в изучаемом материале за счет установления связей его содержания с контекстом личной, социальной, профессиональной или культурной жизни.</p> <p>В системе продуктивного обучения содержательный контекст учебного материала является вариативным элементом и определяется педагогом. В случае профессиональной направленности РЛ усвоение учебной информации осуществляется в контексте профессиональных (или квазипрофессиональных) практических действий и отношений, связанных с индивидуальной и совместной работой обучаемых по решению практико-ориентированных задач соответствующей какой-либо области трудовой деятельности. В ходе обучения имеет место имитация или трансформация учебной деятельности в квазипрофессиональную деятельность специалиста. С этой целью формируется содержание контекстного обучения как интеграция изучаемой науки и предмета будущей профессиональной деятельности (его целей, задач, проблем, требуемых для их решения способов и технологий). Определяются базовые виды учебной квазипрофессиональной деятельности, в содержании которых находят отражение предметные, социальные и психологические особенности работы специалиста соответствующей профессии. За счет этого и формируется профессиональный контекст учебной деятельности. В рамках целостной, внутренне мотивированной квазипрофессиональной деятельности осуществляется освоение учебного материала и обеспечивается формирование у учащихся профессионально-ориентированных компетенций.</p>

1	2
	<p>А. А. Вербицким (одним из ведущих отечественных разработчиков контекстного подхода к обучению) подчеркивается существенное смыслообразующее влияние предметного и социального контекстов будущей профессиональной деятельности на процесс и результаты учебной деятельности.²⁵</p>
<p><i>Коммуникативный подход</i> (К. Шаллер, И. А. Зимняя, Л. Л. Балакина, Г. И. Петрова, Г. Н. Прокументова и др.)</p>	<p>Коммуникации играют в продуктивном обучении определяющую роль. Организация проектной деятельности включает обучение общению, использованию его различных форм и языковых средств с целью обмена профессионально значимой информацией, поиска и согласования решений в сложных ситуациях. Предметом внимания при коммуникативном подходе являются способы организации совместной деятельности обучающихся, а также совместной работы с преподавателями и специалистами в атмосфере доброжелательности, партнерства и сотрудничества. Конечной целью обучения является формирование и развитие у учащихся коммуникативной компетенции как одного из важных показателей социализации и инструмента самовыражения и самореализации.</p>
<p><i>Полисубъектный (диалогический) подход</i> (С. Л. Рубинштейн, В. А. Петровский, В. В. Давыдов, И. А. Зимняя, В. Т. Кудрявцев, И. В. Вачков и др.)</p>	<p>Основу подхода составляет положение о том, что личность рассматривается как продукт и результат общения. Социальное взаимодействие является необходимым условием развития личности (ее эмоциональной, когнитивной и нравственной составляющих). Командная проектная работа обеспечивает развитие полисубъектных отношений. Общность «преподаватель – обучающиеся» рассматривается как единая развивающаяся система. В ходе проектной деятельности взаимоотношения в этом сообществе развиваются. Субъектно-отчужденное взаимодействие преобразуется в субъект-субъектное, формируется корпоративный коллектив. Положительные изменения для каждого субъекта имеют место в «трех важнейших реальностях»: «... <i>познание</i> (мира, себя, других), <i>отношение</i> (к миру, к себе, к другим), <i>преобразование</i> (мира, себя, других)».²⁶</p>
<p><i>Концепция социально-профессионального самоопределения</i> (В. А. Полякова, С. Н. Чистякова, Е. А. Климов,</p>	<p>Продуктивное обучение непосредственно ориентировано на профессиональное самоопределение обучаемых. В рамках такого обучения всегда создаются продукты, относящиеся к конкретной сфере профессиональной деятельности. Обучение осуществляется в условиях свободного выбора направления практической работы, соответствующего способностям учащегося и его профессиональным устремлениям.</p>

²⁵ Вербицкий, А. А. *Новая образовательная парадигма и контекстное обучение*: моногр. – М.: Исслед. центр проблем качества подгот. специалистов, 1999. – 75 с.

²⁶ Вачков, И.В. Полисубъектный подход как возможная методологическая основа инклюзивного образования // *Инклюзия в образовании*. – 2016. – №1(1) – с. 21–37.

1	2
В. И. Блинов, И. С. Сергеев, Е. В. Зачесова и др.)	Система проектов, выстроенная в соответствии с требованиями к профессиональной подготовке выпускника, направлена на осуществление различных направлений и этапов этой подготовки. Работа по созданию продукта может быть определена как профессиональная проба, которая играет важную роль в будущем профессиональном самоопределении (включая выбор специализации в рамках уже избранной профессии) и последующей успешной адаптации в профессиональном социуме.
<i>Стратегический подход</i> (А. Чандлер, Г. Минцберг, К. А. Абульханова-Славская и др.)	Данный подход может рассматриваться как дополнение к концепции социально-профессионального самоопределения, поскольку направлен на реальное осуществление состоявшегося профессионального выбора. Долговременное планирование обучающимся программ самореализации (определения жизненной позиции, выбора цели, траекторий развития, средств и способов его обеспечения), способность разрешать противоречия между намеченным планом и реальными условиями жизнедеятельности – это умения, которые рассматриваются как особые жизненные качества личности (<i>стратегическая компетентность</i>). Эти качества формируются в реальной практической деятельности. В рамках продуктивного обучения данный подход трактуется как сознательный процесс планирования обучающимися саморазвития с целью социальной адаптации и реализации своих жизненных целей, связанных с профессиональным самоопределением. Условием решения поставленных стратегических задач является становление у обучаемых в ходе проектной деятельности способности к самоорганизации.

Одним из актуальных вопросов, интересующих исследователей, является вопрос о *принципах организации продуктивного обучения*. В настоящем исследовании предложена уточненная система принципов PL. Системообразующим началом является теоретико-методологический базис продуктивного обучения, в котором представлены составляющая, отражающая объективные закономерности образовательной деятельности обучающихся, и составляющая, отражающая определяемые целями продуктивного обучения его характеристические признаки. Соответственно определены системы *сущностных* и *атрибутивных* принципов PL (табл. 19).

Сущностные принципы РЛ Теоретико-методологический базис	
<i>Теория деятельности</i>	
1.	Личностно значимый созидательный характер учебной деятельности.
2.	Обеспечение целостности психологической структуры учебной деятельности.
3.	Планомерность в формировании и развитии компонентов структуры деятельности
4.	(мотивации, ориентировочной основы, «механизмов» исполнения, самоконтроля и ее эмоционально-ценностного компонента). Деятельностный подход к формированию системы знаний.
<i>Теории развивающего обучения</i>	
5.	Обеспечение социокультурного контекста учебной деятельности.
6.	Освоение содержания обучения на основе системы продуктивных актов.
7.	Приоритет самостоятельной деятельности и формирования ее индивидуального стиля.
8.	Опора на механизмы развития («движения») деятельности (внутренние, внешние) как формы проявления активности личности.
<i>Конструктивистский подход</i>	
9.	Организация познавательной и практической деятельности в опоре на механизмы саморегуляции, саморазвития, самореализации («самоконструирования»).
Атрибутивные принципы РЛ Теоретико-методологический базис	
<i>Концепция средо-ориентированного обучения</i>	
10.	Обновление социокультурного окружения (среды обучения), обеспечение его профессионализирующего профиля.
<i>Личностно-ориентированный подход</i>	
11.	Формирование индивидуальных траекторий продуктивной образовательной практики.
<i>Коммуникативный и полисубъектный (диалогический) подходы</i>	
12.	Направленность на развитие коммуникативной культуры обучающихся, формирование у них инициативной коммуникативной позиции.
13.	Развитие межличностного общения и опыта познавательного сотрудничества, включая обновление позиции педагога в структуре общения.
<i>Компетентностный и контекстный подходы</i>	
14.	Контекстуальная и компетентностная направленность продуктивного обучения.
<i>Концепция социально-профессионального самоопределения. Стратегический подход</i>	
15.	Опора на потребность в социально-профессиональном самоопределении, формирование стратегической компетенции в самореализации.

Ниже приведено обоснование данной системы принципов, раскрываются содержание и ключевые направления их реализации.

Сущностные принципы РЛ Теория деятельности

1. *Личностно значимый созидательный характер учебной деятельности.*

Единство сознания и деятельности – основной принцип теории деятельности. Обучаемый через свою деятельность преобразует окружающий его мир и формирует собственную личность. Психические свойства личности одновременно и проявляются, и формируются в ее поведении и деятельности. Взаимосвязь содержания деятельности и ее личностных результатов носит объективный закономерный характер. Деятельность составляет основу формирования психики и высших психических функций. В контексте деятельностного подхода разработаны представления о значении, личностном смысле и чувственной ткани (эмоциях) как образующих сознания, об иерархии мотивов и личностных смыслов как единицах строения личности. Основу личности человека составляет совокупность его общественных по своей природе отношений к миру, которые реализуются совокупностью его многообразных деятельностей и определяют их направленность, избирательность (Л. С. Выготский, С. Л. Рубинштейн, А. Н. Леонтьев). Образовательный процесс, реализуемый через деятельность, процесс и результат которой входят в сферу мотивов и личностных смыслов, оказывает значительное воздействие на формирование личности обучаемого.

2. *Обеспечение целостности психологической структуры учебной деятельности.*

Деятельность, соотнесенная с мотивом, состоит из действий, имеющих свои цели, и операций, согласованных с условиями. Одинаковы структуры внешней и внутренней (умственной) деятельности. Единицу анализа – действие образуют следующие составляющие: принятие решения (образы ситуации и действия, программа действия), реализация, контроль и коррекция. Возможен более глубокий (микроструктурный) анализ познавательной и исполнительной деятельностей. Представления о строении деятельности применимы и к анализу всех остальных психических процессов (восприятие, внимание, мышление, память и пр.). Целостность компонентного состава деятельности на всех уровнях ее анализа определяет ее результативность (А. Н. Леонтьев).

3. *Планомерность формирования компонентного состава деятельности* (мотивации, ориентировочной основы, «механизмов» исполнения, самоконтроля и ее эмоционально-ценностного компонента).

Уровень развития компонентного состава деятельности влияет на ее успешность (качество результата), из чего следует необходимость целенаправленного формирования у обучающихся компонентов деятельности как внешней, так и внутренней (умственной), т.е. овладения умениями: практическими, познавательными (перцептивными навыками, способами мышления, мнемотехникой) (Л. С. Выготский, А. Н. Леонтьев, М. А. Холодная, П. Я. Гальперин, Е. Н. Кабанова-Меллер). Существенное влияние на результативность этих процессов оказывает тип ориентировочной основы (программ) действий (П. Я. Гальперин, Н. Ф. Талызина) и эмоционально-ценностный компонент содержания деятельности в составе трех его элементов: ценностно-смыслового, эмоционально-личностного и субъектно-волевого, что определяет необходимость их целенаправленного формирования (А. Н. Леонтьев, И. Я. Лернер, В. В. Краевский, М. Н. Скаткин).

4. Деятельность как основа формирования системы знаний.

Категория деятельности используется при анализе и объяснении высших психических функций и процессов, в том числе познавательных процессов, результатом которых является знание в его различных формах. Объекты внешнего мира воздействуют на субъекта не непосредственно, а будучи преобразованными в ходе деятельности, за счет чего достигается более высокая степень адекватности их отражения в сознании. Основным признаком высших психических функций является их опосредованность специальными «психологическими орудиями», знаками, возникшими в результате длительного общественно-исторического развития человечества, к которым, прежде всего, относится речь с ее понятийной атрибутикой (Л. С. Выготский, А. Н. Леонтьев). Формирование понятий связано с освоением методов получения информации о существенных свойствах предметов и явлений в процессе познавательной деятельности. Выявлены и используются закономерности формирования у обучающихся научных понятий в процессе учебного познания (Л. С. Выготский, П. Я. Гальперин, Н. Ф. Талызина, Н. А. Менчинская, Д. Б. Эльконин, В. В. Давыдов, А. В. Усова, Т. Н. Шамало и др.)

Теории развивающего обучения

5. Обеспечение социокультурного контекста учебной деятельности.
Деятельность «... человеческого индивида представляет собой систему, включенную в систему отношений общества. Вне этих отношений челове-

ская деятельность вообще не существует». Деятельность в системе отношений социума – условие развития личности. Личность порождается деятельностью и соотносится со становлением связной системы личностных смыслов», которые формируются в широком жизненном пространстве многообразной социокультурной деятельности. Система смыслов отражает отношения человека к действительности. (С. Л. Рубинштейн, А. Н. Леонтьев). В связи с этим необходимо обеспечить соответствие содержания учебных продуктивных актов обучающихся содержанию направлений социокультурного развития в области современной культуры, науки, прикладных исследований и технологических решений. Включение продуктивной деятельности в более широкий социокультурный контекст – это не только условие обогащения содержания, расширение спектра приобретаемых обучающимся умений и навыков, но и условие осмысления субъектом данной деятельности в иной системе координат – в ракурсе реального развития в социуме соответствующей области знаний. Это придает продуктивной деятельности обучающегося обновленные значение и личностный смысл как накоплению современного социокультурного опыта и его преобразованию в элемент личностной культуры, как совокупности «... закрепившихся в жизни индивида, но способных к изменению культурно-опосредованных форм его отношений с действительностью»²⁷ Реализация данного принципа PL направлена на обогащение эмоционально-ценностного компонента содержания продуктивной деятельности, что существенно стимулирует ее активность. Следствиями осознания обучающимся значимости продуктивной деятельности в логике развития современных культурных и социальных процессов являются эффекты самоорганизации и самообразования: 1) масштабирование, осмысление и конструирование собственных целей в контексте современных культурных явлений и процессов; 2) самостоятельность мышления и избирательность в восприятии и отборе информации, необходимой для решения учебных или личностных задач; 3) выбор адекватного инструментария образовательной деятельности, способствующего достижению поставленной цели с опорой как на культурно-исторический, так и субъективный опыт, в том числе опыт повседневности, накопленный индивидом; 4) рефлексия, связанная с переосмыс-

²⁷ Худякова, Н. Л. Философия культуры и культуросообразность образования // Вестник Челябинского государственного университета. Философия. Социология. Культурология. – Вып. 24. – С. 72–75.

лением собственного социокультурного опыта, поиском новых его возможностей развития.²⁸

6. Освоение содержания обучения на основе системы продуктивных актов.

Созданный продукт (материальный, идеальный) есть отражение предметного содержания и продуктивного характера деятельности, обеспечивающей развитие личности (А. Н. Леонтьев). Богатство состава и качество результативных (продуктивных) актов есть условие разнообразия направлений и масштабов изменений в личностном развитии.²⁹ Система заданий (проектов) продуктивной деятельности, последовательность их выполнения, нарастающая сложность согласовываются с содержанием программы обучения (по дисциплине, курсу, учебной теме) с целью обеспечения ее усвоения обучающимися – достижения необходимых предметных, метапредметных и личностных результатов обучения.

7. Приоритет самостоятельной деятельности и формирования ее индивидуального стиля. Ключевыми характеристиками деятельности являются ее предметность и субъектность. Субъективность деятельности проявляется в таких ее особенностях как обусловленность актуальными потребностями и мотивами человека, сложившимися установками, особенностями эмоционально-ценностного компонента, прошлым опытом. Все это в комплексе определяет личностную значимость деятельности, ее направленность и избирательность используемых способов достижения целей (А. Н. Леонтьев).

В целом субъективный характер деятельности связан с системой индивидуальных свойств организма (1), индивидуальных психических (2) и социально-психических (3) свойств, а также связей между ними. Эта трехуровневая иерархическая система определяется как «интегральная индивидуальность» личности (самонастраивающаяся и самоорганизующаяся система ее свойств) (концепция В. С. Мерлина). Свойства организма и психики, связи между этими уровнями формируются и проявляются в индивидуальном стиле поведения и деятельности, который определяет режим наибольшего согласования объективных условий ее протекания и индивидуальных свойств личности (Б. Ф. Ломов). Возможность выбора в некоторых границах способа

²⁸ Коробкова, Е. Н. // Педагогика искусства. – № 2. – 2019. – с. 21–28

²⁹ Леонтьев, А. Н. Избранные психологические произведения. – М.: Педагогика, 1983. – Т. 2. – С. 94–231.

достижения цели определяет зону «неопределенности деятельности». Наличие такой «зоны неопределенности» – первое условие проявления самостоятельности личности и становления индивидуального стиля ее деятельности. При этом в условиях обучения данная зона не должна выходить за пределы «зоны ближайшего развития». Второе условие – формирование представлений о «зоне определенности деятельности» (системе требований, задающих ее успешность). Третье условие – *наличие мотивации*, побуждающей поиск субъектом наиболее эффективного для него в заданной ситуации способа деятельности (В. С. Мерлин). Четвертое условие – *освоение субъектом различных стилей поведения и деятельности* (внешней, внутренней), на основе которых обеспечивается успешность формирования персонального стиля деятельности, его гибкость как поиск в каждом конкретном случае баланса сильных и слабых сторон практического и ментального опыта субъекта.³⁰

8. *Опора на механизмы развития («движения») деятельности как формы проявления активности личности.*

К внутренним механизмам развития деятельности относятся: 1) *процессы интериоризации-экстериоризации* в усвоении общественно-исторического опыта деятельности; 2) *надситуативная активность* (выход за пределы целей и требуемых условий их реализации), определяющая саморазвитие деятельности, появление ее новых более сложных форм и соответственно наращивание механизмов саморегуляции (рост самостоятельности личности как сознательной саморегуляции поведения и деятельности); 3) *установка как избирательное отношение к определенной деятельности (способу действий)*, обеспечивающая ее устойчивость в меняющейся реальности; 4) *изменения в мотивационно-потребностной сфере личности*, обусловленные этапами ее развития и процессами, происходящими в социальной среде окружения. (А. В. Петровский, А. Н. Леонтьев, С. Л. Рубинштейн, Д. Н. Узнадзе).

Внешними механизмами развития являются: 1) формирование проблемного поля деятельности; 2) стимулирование (мотивация) деятельности, 3) постановка целей и задач деятельности в области «зоны ближайшего развития» 4) актуализация эмоционально-ценностного компонента ее содержания; 5) формирование ориентировочной основы деятельности как инструмента

³⁰ Холодная, М. А. Психология интеллекта. Парадоксы исследования / М. А. Холодная. – СПб.: Питер, 2002. – 272 с.

саморегуляции (Л. С. Выготский, А.В. Петровский, А. Н. Леонтьев, С. Л. Рубинштейн, Д. Н. Узнадзе, В. В. Давыдов Л. И. Божович, Б. Ф. Ломов, З. И. Калмыкова, Т. В. Кудрявцев, А. М. Матюшкин, М. И. Махмутов, В. Оконь, П. Я. Гальперин, Н. Ф. Талызина)

Конструктивистский подход

9. *Организация познавательной деятельности в опоре на механизмы саморегуляции, саморазвития, самореализации.* Базовой идеей теории конструктивизма, является утверждение о том, что человек не является пассивным потребителем информации. Источник развития индивида заключается не во внешних обучающих действиях, а в его саморазвитии в условиях взаимодействия с окружающей средой. Основу процессов приобретения новых знаний и ментального развития личности составляют ее познавательная активность и самостоятельность (Д. Дьюи, Ж. Пиаже, Л. С. Выготский Д. Брунер, С. Л. Рубинштейн, А. Н. Леонтьев, А. А. Леонтьев, А. Р. Лурия).

Обобщенные знания, приобретенные в прошлом опыте («схемы действия» по Ж. Пиаже) составляют основу конструирования новых знаний. Это динамичная система взаимодействия базовых конструктов сознания со средой как объектом познания. Роль уже сложившихся когнитивных структур обучающегося (его прежнего опыта) в конструировании новых мыслительных структур чрезвычайно высока. Новая информация встраивается в сложившиеся структуры, а имеющиеся когнитивные конструкты приводятся в соответствие с новой познавательной ситуацией. Этот процесс уникален для каждого индивида (теория когнитивного развития Ж. Пиаже, теория социокультурного развития Л.С. Выготского, теория научения Дж. Брунера).

В условиях продуктивного обучения, ориентированного на становление самостоятельности познания и практической деятельности, необходимо создать специальные педагогические условия для успешного самоконструирования знаний учащихся. Это ситуации: 1) *когнитивного конфликта* между внутренней сложившейся структурой (прежнего опыта) и внешней неизвестной реальностью, который преодолевается обучающимся через решение возникших познавательных и практических проблем на основе самостоятельного поиска информации, исследования, проектирования, моделирования, конструирования и пр.; следствием разрешения данного конфликта является приобретение нового опыта (знаний, умений, навыков продуктивного мыш-

ления); 2) *актуализации потребности* обучающихся в разрешении данного конфликта; 3) *соотнесение содержания конфликта и потенциальных возможностей* обучаемого (содержания предшествующего опыта, навыков конструктивного мышления) по его преодолению; 4) *предоставление обучающимся свободы выбора* средств и способов, условий деятельности (реализация индивидуального маршрута познания); 5) *педагогическое сопровождение* творческой деятельности и процессов формирования у обучающихся на ее основе *конструктивного мышления* с опорой на осмысление системы знаний («встраивания» в эту систему нового знания) и обобщенных способов «добывания» знаний; (6) *обновление позиции педагога* (преподаватель-консультант, организатор, координатор учебного исследования, технического творчества обучаемых). Обучение на основе конструктивистского подхода ориентировано на непрерывное образование и самосовершенствование личности.

Атрибутивные принципы РЛ

Концепция средо-ориентированного обучения

10. *Обновление социокультурного окружения (среды обучения), обеспечение его профессионализирующего профиля.*

Средовый подход является принципиально значимым для организации обучения продуктивного типа. Деятельность индивида находится в непрерывной динамической взаимосвязи с той социокультурной средой, в которой происходит процесс его становления как личности. (Д. Дьюи, Ж. Пиаже, Л. С. Выготский) В социально-историческом контексте выявлена объективная взаимосвязь между социальной культурой субъекта и социокультурным образовательным пространством (средой окружения), отличающимся особенностями содержания (ресурсами и субъектами), а также формами и методами, принятыми в этой среде деятельности, и нормами отношений. Изменения социального и пространственного окружения порождает новые возможности для выявления и развития потенциальных возможностей личности (С. Л. Рубинштейн, А. Н. Леонтьев).

Различают взаимосвязанные уровни организации образовательной среды: *глобальный, региональный и локальный* (кафедра вуза, производственная или научная лаборатория, мастерская, учреждение дополнительного образования, школьная лаборатория, семья и др.), а также ее компоненты: *про-*

*странственно-семантический, содержательно-методологический, коммуникативно-организационный.*³¹

В продуктивном обучении реализация средо-ориентированного подхода играет определяющую роль (В. А. Ясвин, В. И. Слободчиков и др.). Учащиеся «погружаются» в новую для них образовательную среду, для которой характерны специфическая ресурсная база, непосредственное общение с профессионалами в избранной сфере деятельности, иной стиль образовательной практики – совместная работа и сотрудничество в решении профессионально-ориентированных проблем, включение в инновационные процессы организации (компании, предприятия, лаборатории и т.п.). Это новое для обучающихся «... открытое социально-профессиональное пространство, где каждый взрослый передает младшему секреты жизненного и профессионального мастерства и в процессе общения с ним стремится взрастить в маленьком человеке индивидуальность, воспитать умение принимать себя и других, развивать способность к восприятию культуры других ...».³²

Среда продуктивного обучения должна учитывать предшествующий опыт обучающихся и в то же время содержать новые компоненты, обеспечивающие его развитие. Обновленная социокультурная среда – важное условие «открытия» способностей и реализации творческого потенциала личности. Такая среда может включать комплекс взаимосвязанных уровней ее организации (лаборатория школы – научная лаборатория вуза; учреждение дополнительного образования – производственная мастерская и т.п.), что обеспечивает принципиально новые условия для формирования личности обучаемых, их социализации и последующего профессионального самоопределения. Не менее важна роль обновленной среды в формировании адаптивных качеств обучающихся, обеспечивающих их успешную ориентацию в измененных условиях.

Личностно-ориентированный подход

11. Формирование индивидуальных траекторий продуктивной образовательной практики. Личность как субъект социальных отношений и созна-

³¹ Ясвин, В.А. Образовательная среда: от моделирования к проектированию / В.А. Ясвин. – М.: Смысл, 2001. – 365 с.

³² Чистякова, С.Н. Продуктивная педагогика: прошлое и настоящее / С.Н. Чистякова // Совместный выпуск журналов «Школьные технологии». – 1999. – № 4; «Новые ценности образования». – 1999. № 9. – С.87–90.

тельной деятельности, как основание, интегрирующее все психические процессы, свойства и состояния, является сложным объектом анализа. Развитие социально-психических структур личности опосредовано деятельностью индивида. К ключевым характеристикам деятельности относятся ее предметность и субъектность (С. Л. Рубинштейн, А. Н. Леонтьев).

Сутью личностно-ориентированного подхода к обучению является обеспечение системы условий, способствующих становлению личности как сложной обладающей индивидуальным своеобразием структуры. Система этих условий вариативна по содержанию и для каждого отдельного обучающегося базируется на изучении педагогом: 1) *структуры личности как «интегральной индивидуальности»*, представленной: а) системой индивидуальных свойств организма, б) индивидуальных психических свойств, в) социально-психических свойств; 2) *психологической структуры деятельности* в ее внешней и внутренней (умственной) формах, включающей: а) мотивы, цели, действия и операции; б) подструктуру действий (программу, исполнение, контроль, коррекцию; 2) *структуры социальных взаимодействий и отношений* обучающегося к себе, к другим, к миру.

Анализ и учет конкретных проявлений данных компонентов личности учащегося важен в контексте выбора содержания и методов организуемой для него образовательной практики. В группе обучающихся это выражается в индивидуальном и дифференцированном подходе к планированию и реализации обучения (Е. В. Бондаревская, Э. Н. Гусинский, Ю. И. Турчанинова, В. В. Сериков, И. С. Якиманская и др.). Единицей педагогического анализа является личностно-ориентированная ситуация образовательной практики обучающегося (В. В. Сериков).³³

Образовательный процесс РЛ ориентирован на обеспечение каждому учащемуся в опоре на его способности и субъектный опыт возможности реализовать себя в продуктивной деятельности. Объектом внимания педагога в условиях реализации индивидуального подхода к обучению являются: 1) развитие познавательной активности и самостоятельности каждого обучающегося, 2) максимальное раскрытие его индивидуальности как субъекта познания и предметной деятельности, 3) формирование у него ЗУН и СУД,

³³. Сериков, В.В. Личностный подход в образовании: концепции и технологии: монография. – ВГПУ. Волгоград: Перемена, 1994. – 150 с

развитие познавательных способностей и продуктивного мышления, 4) обогащение эмоционально-ценностного компонента его продуктивной деятельности, 5) формирование навыков познавательного сотрудничества и опыта совместной работы. Обучаемый на основе собственных интересов и желания совершенствоваться в том или ином направлении свой творческий потенциал сам выбирает содержание практической работы и связанной с ним учебной деятельности. Достижение цели – создание продукта – осуществляется на основе индивидуального образовательного маршрута (индивидуальной программы работы над избранными проектами). Обеспечивается в соответствии с данным маршрутом индивидуальное педагогическое сопровождение деятельности обучающегося, базирующееся на знании педагога особенностей его личности [31].

Коммуникативный подход

12. Направленность на развитие коммуникативной культуры обучающихся, формирование у них инициативной коммуникативной позиции

Социальная коммуникация рассматривается как *вид деятельности*, вид взаимодействия между людьми, связанный с информационным обменом. Коммуникации субъекта, опосредованные деятельностью, играют определяющую роль в становлении его личности. Высшие психические функции человека формируются всецело под влиянием социальных воздействий (Л. С. Выготский, А. Н. Леонтьев).

Коммуникации относятся к одной из форм общения субъектов, имеющей для них личностный смысл. Как социальный процесс коммуникации (межличностные, межгрупповые, массовые) отражают структуру общества и выполняют в нем связующую функцию. Это основа накопления информации, ее последующей систематизации и обобщения, в итоге формирования и обогащения социокультурного опыта сообщества.

Информационный обмен («*движения информации*») – одно из условий жизнедеятельности и развития социума. Основная функция коммуникации – достижение социальной общности при сохранении индивидуальности каждого из ее субъектов. Кроме этого, к функциям коммуникации относятся: установление обратной связи, устранение разъединяющих субъектов противоречий, согласование норм поведения и деятельности, включая умственную деятельность. В процессе коммуникации в сообществе формируются различные

коммуникативные структуры, развиваются средства информационного обмена, его формы и способы. Современный информационный обмен протекает в технологически организованных информационных системах. Различают речевую, паралингвистическую, вещественно-знаковую коммуникацию. В актах социальной коммуникации всегда представлены *информационная, технологическая* и *социально-психологическая* составляющие³⁴. Освоение видов, форм, способов и средств, а также современных технологий социальной коммуникации имеет своим результатом формирования «*коммуникативной компетентности*» и становления *коммуникативной культуры личности*, которая является основой ее общей культуры (Ю. А. Баженова).

Приведенная характеристика социальной коммуникации раскрывает ее определяющую роль в обучении, и в особенности в обучении продуктивного типа. Спецификой коммуникации в системе РЛ является *инициативная коммуникативная позиция обучающегося*. Приобретение необходимой информации является условием решения стоящих перед обучающимся задач. Предметом внимания педагога является стимулирование и поддержка инициативы учащегося в информационном обмене, помощь с ориентацией в «поле» источников информации, сопровождение в освоении новых средств, способов и технологий коммуникации. Важно помочь обучающимся в преодолении коммуникационных барьеров (смысловых, идеально-содержательных, технологических, культурных, межличностных). Одним из важных средств решения этой задачи является организация педагогом в среде продуктивной деятельности разнообразных форм межличностной коммуникации: *устной* (обмен мыслями, сведениями, идеями, диалоги, сообщения, оппонирование, дискуссии, презентации проектов, конференции и т.п.), *письменной* (отчеты, портфолио, критические заметки, публикации и др.). Целесообразна организация коммуникаций с применением средств современных информационно-коммуникационных технологий, а также с выходом за пределы образовательного пространства среды обучения. Важным является уровень профессиональных коммуникативных умений педагога. Вопросы становления коммуникативной культуры педагога широко обсуждаются в современных исследованиях (В. А. Кан-Калик, В. А. Сластенин, Е. В. Бондаревская, Е. Н. Воробьева, Л. Г. Семушина, Т. Ф. Белоусова, Е. Н. Шиянов и др.).

³⁴ Головин, С. Ю.. Словарь психолога-практика. – Минск. Харвест, 2007. – 976 с.

Полисубъектный (диалогический) подход

13. Развитие межличностного общения, формирование опыта познавательного сотрудничества, включая обновление позиции педагога в структуре общения.

Общение в психологии определяется как взаимодействие субъектов с целью установления и поддержания межличностных отношений, а также достижения общего результата совместной деятельности. Это один из важнейших факторов психического и социального развития личности (Л. С. Выготский, А. Н. Леонтьев). Совместная деятельность является каналом трансляции социальной культуры, «исторически сложившихся схем действий» от субъекта к субъекту. (А. Н. Леонтьев, С. Л. Рубинштейн).

В общении наряду с коммуникативной представлены перцептивная и интерактивная составляющие этого взаимодействия, что усиливает эффекты взаимовлияния субъектов друг на друга. Перцептивная сторона общения связана с процессами субъект-субъектного восприятия и познания партнеров по общению и установления на этой основе взаимопонимания между ними, принятие друг друга. Интерактивная компонента общения проявляется в непосредственном взаимодействии людей в ходе совместной деятельности. Для каждого из субъектов эта деятельность имеет свои мотивы, значение и смысл, что определяет для обеих сторон общения специфику целей и характера взаимодействия. Движущими силами общения являются мотивы: познавательные, деловые, личностные.³⁵

Различают виды взаимодействия, лежащего в основе общения: *содружество, конкуренция и конфликт*. Содружество (сотрудничество) как форма общения обладает особой социальной ценностью. Конкуренция тоже играет важную роль в развитии социума. Однако в этом случае стоит вопрос о культуре конкуренции. Конфликтные отношения нежелательны, важна в этом случае готовность субъектов сообщества разрешать конфликтные ситуации путем принятия компромиссных решений.

Развитие межличностного общения на основе совместной деятельности является одной из главных целей продуктивного обучения. Акцент ставится на становление в учебной группе отношений познавательного сотрудниче-

³⁵ Головин, С. Ю. Словарь психолога-практика. – Минск. Харвест, 2007. – 976 с.

ства. При этом такое сотрудничество не должно быть ограничено одной функцией – обмена информацией (знаниями, опытом). Большое значение имеют процессы накопления знаний по результатам совместной продуктивной деятельности, управления практикой применения приобретенного опыта в дальнейшей созидательной деятельности учебного коллектива. В этом случае формируются так называемые «коллективные компетенции». Это позволяет коллективу учащихся перейти на новый уровень зрелости в решении задач продуктивной практики [95, с.16]. Достижению этой цели способствует организация выполнения коллективного проекта или проектов, имеющих общую тематическую направленность (Д. А. Антонова)[5, 8]. Общая или частично совпадающие цели совместной продуктивной деятельности определяют возможность реализации широкого спектра взаимодействий (совместное планирование, распределение функций, выработку единой стратегии взаимодействия, обмен информацией, диалоги, дискуссии, обмен опытом выполнения отдельных действий и операций, коллективная рефлексия и др.). Познавательное сотрудничество, порождаемое потребностями совместной работы, приобретает черты сложного многопланового процесса установления и развития контактов обучающихся, дополнительно включающих в себя восприятие и понимание другого человека, усвоение и принятие норм и правил поведения по отношению к другим людям, осознание значимости результата деятельности для себя и для других.³⁶ Формирующаяся в этих условиях культура общения, базирующаяся на познавательном сотрудничестве, обогащается его эмоционально-ценностным компонентом.

Важны роль педагога в организации познавательного сотрудничества и принципы его взаимоотношений с учащимися.³⁷ Предпочтительные позиции: 1) учитель – моральный авторитет, призванный личным примером вовлечь обучающегося в практику созидательной деятельности, осознания ее ценности и значимости для реализации творческого потенциала всех и каждого (Е. А. Ямбург, Ю. П. Азаров); 2) учитель – организатор условий продуктивной деятельности как средства самореализации обучающихся; учитель – консультант с недирективным характером педагогического воздействия, определяющего достаточную степень свободы обучающихся в реализации

³⁶ Головин, С. Ю. Словарь психолога-практика. – Минск. Харвест, 2007. – 976 с.

³⁷ Коробкова, Е. Н. // Педагогика искусства. – № 2. – 2019. – с. 21–28.

продуктивной деятельности (Э. Н. Гусинский, Ш. А. Амонашвили, А. М. Лобок); 3) тьютор, 4) партнер в разработке проекта.

Командная проектная работа обеспечивает развитие межличностных отношений в учебной группе. Общность «преподаватель – обучающиеся» рассматривается как единая развивающаяся система. В ходе совместной деятельности это развитие подчиняется некоторой логике и проходит ряд этапов, каждому из которых соответствует определенный тип отношений: 1) *совокупность предсубъектов* (субъектно-отчужденное взаимодействие, коллективный субъект отсутствует); 2) *атомарный коллективный субъект* (субъект-объектное взаимодействие, центрация на себе и использование других для достижения только своих целей); 3) *корпоративный коллективный субъект* (субъект-субъектные отношения разных уровней развития, деятельно-ценностное взаимодействие, направленное на достижение общей цели); 4) *полисубъект* (субъект-субъектные отношения, наличие не только внутригрупповых, но и межгрупповых отношений, т.е. создание связей с другими полисубъектами, а также общностями других уровней развития).³⁸ Задача педагога обеспечить в ходе продуктивной деятельности развитие межличностных отношений в группе учащихся в данном направлении. По мере становления межличностных отношений положительные изменения для каждого субъекта имеют место в «трех важнейших реальностях»: «... познание (мира, себя, других), отношение (к миру, к себе, к другим), преобразование (мира, себя, других)».²⁹

Компетентностный и контекстный подходы

14. Контекстуальная и компетентностная направленность продуктивного обучения. Данный принцип отражает интеграцию двух подходов к организации продуктивного обучения: компетентностного и контекстного.

В рамках первого подхода пересматриваются цели обучения, а именно обновляется их состав в соответствии с международными критериями образовательной подготовки молодежи. Речь идет о формировании трехуровневой системы знаний: *концептуальных, процессуальных и контекстуальных*. Последний из уровней отражает степень овладения обучающимися умений использовать знания первого и второго уровней в решении конкретных прак-

³⁸ Вачков, И. В. Полисубъектный подход как возможная методологическая основа инклюзивного образования // Инклюзия в образовании. – 2016. – №1(1) – с. 21–37.

тических задач (сформулированных в контексте жизненных социально-значимых, в том числе профессиональных ситуаций) [104]. Образовательный процесс в его компетентностной модели приобретает более «жесткую» целевую ориентацию на решение проблемы адаптации молодежи к условиям взрослой жизни в ключевых сферах социальной практики: интеллектуальная деятельность, коммуникации, трудовая деятельность, сферы эстетики и физической культуры, мотивации и этики социальных отношений (И. А. Зимняя, Дж. Равен, Н. В. Кузьмина, О. Е. Лебедев, М. И. Лукьянова, А. К. Маркова, Г. С. Трофимова, Н. Хомский, А. В. Хуторской, М. А. Чошанов, В. А. Якунин и др.). Ставится задача подготовки обучающихся к деятельности в избранной области социальной практики на уровне овладения знаниями, умениями и первичным опытом решения реальных задач.

Компетентностный подход в системе продуктивного обучения рассматривается в большинстве исследований последних лет (Н. Б. Яновская, Е. А. Румбешта, В. З. Мидуков, Ф. Т. Шишкин, Ф. Н. Козырев, Е. Н. Васильева С. В. Литвиненко и др.). Это обусловлено тем, что создаваемый обучающимся продукт, востребованный в конкретной сфере социальной практики, напрямую связан через качество своих потребительских свойств с компетентностью разработчика, а именно с его умением успешно решать конкретные задачи в соответствующей сфере деятельности, в том числе задачи нестандартного характера [104].

Контекстный подход тоже имеет своей целью формирование готовности обучающихся к решению практических задач в различных сферах жизнедеятельности, но связан с перестройкой содержания обучения, которая будет максимально способствовать достижению этой цели. Суть этого подхода заключается в «... системном раскрытии многовариантных взаимосвязей субъекта и его окружения, составляющих в своем единстве контекст, определяющий значение и смысл самого субъекта и всех его действий в среде»³⁹. Цель контекстного обучения состоит в том, чтобы помочь обучающемуся найти смысл в изучаемом материале за счет установления связей его содержания с контекстом *личной, социальной, профессиональной или культурной жизни*.

³⁹ Калашников, В. Г. Понятие «контекст» и контекстный подход в образовании // Вестник Московского университета. Серия 20. Педагогическое образование. – 2019. – №4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-kontekst-i-kontekstnyu-podhod-v-obrazovanii> (дата обращения: 12.02.2023).

В системе продуктивного обучения содержательный контекст учебного материала является вариативным элементом и определяется педагогом. В случае профессиональной направленности РЛ усвоение учебной информации осуществляется в контексте профессиональных (или квазипрофессиональных) практических действий и отношений, связанных с индивидуальной и совместной работой обучаемых по решению практико-ориентированных задач соответствующей какой-либо области трудовой деятельности. В ходе обучения имеет место имитация или трансформация учебной деятельности в профессиональную деятельность специалиста. С этой целью формируется содержание контекстного обучения как интеграция изучаемой науки и предмета будущей профессиональной деятельности (его целей, задач, проблем, требуемых для их решения способов и технологий). Определяются базовые виды учебной *квазипрофессиональной деятельности*, в содержании которых находят отражение предметные, социальные и психологические особенности работы специалиста соответствующей профессии. За счет этого и формируется профессиональный контекст учебной деятельности. В рамках целостной, внутренне мотивированной квазипрофессиональной деятельности осуществляется освоение учебного материала и обеспечивается формирование у учащихся профессионально-ориентированных компетенций. А. А. Вербицкий (одним из ведущих отечественных разработчиков контекстного подхода к обучению) подчеркивается существенное смыслообразующее влияние предметного и социального контекстов будущей профессиональной деятельности на процесс и результаты учебной деятельности.⁴⁰

Концепция социально-профессионального самоопределения.

Стратегический подход

15. *Опора на потребность личности в социально-профессиональном самоопределении, формирование стратегической компетенции в самореализации.* Понятие «самоопределение» впервые было введено отечественным психологом С. Л. Рубинштейном и рассматривалось в отношении тех качеств личности человека, которые определяют его самостоятельность в выборе

⁴⁰ Вербицкий, А.А. Новая образовательная парадигма и контекстное обучение: моногр. – М.: Исслед. центр проблем качества подгот. специалистов, 1999. – 75 с.

жизненных целей и планов.⁴¹ Это значит, что человек сам решает, кем он хочет быть, и проявляет активность в реализации своей жизненной стратегии. Феномен самоопределения исключительно сложный, что следует из многообразия формирующих его факторов. В психологической науке не существует единого подхода к определению структуры самоопределения, отсутствуют стандартизированные методики его исследования. Это относится практически ко всем видам самоопределения личности (А. Л. Журавлев).⁴² Наибольшее внимание исследователей сосредоточено на *личностном, социальном и профессиональном* самоопределении.

Самоопределение трактуется как *осознание личностью своей позиции, которая формируется в системе отношений человека в среде окружения* (С. Л. Рубинштейн, К. А. Абульханова-Славская). Выявлена потребность личности в самоопределении: всякая «... новая среда и даже ее частичные изменения предполагают выработку *отношения* к ней или ее изменениям, а также самоопределение при *взаимодействии* с изменившейся или, точнее, изменяющейся средой» (А. Л. Журавлев).³³

С. Л. Рубинштейн выделил две характеристики самоопределения – *самопознание* (осознание своих внутренних свойств, своих потребностей, определение жизненных принципов и целей, ценностей и идеалов) и «верность себе», т.е. *автономность* (сохранение и по возможности отстаивание этих принципов и целей, ценностей и идеалов). Это значит, что самоопределение «... представляет собой *осознание личностью свободы действовать* в соответствии с ценностями группы и *в относительной независимости от группового давления*» (А. Л. Журавлев).³³

Итак, под самоопределением понимается «... поиск субъектом своего способа жизнедеятельности в мире на основе воспринимаемых (оцениваемых), принимаемых или формируемых (создаваемых) им во временной перспективе базовых отношений к миру, другим людям, человеческому сообществу в целом и к самому себе, а также на основе собственной системы жизненных смыслов и принципов, ценностей и идеалов, возможностей и способностей, ожиданий и притязаний» (А. Л. Журавлев).³³ Важно рассмотрение

⁴¹ Рубинштейн, С. Л. Теоретические вопросы психологии и проблемы личности / Проблемы общей психологии – М.: Педагогика, 1973 – С. 241–342.

⁴² Журавлев, А. Л. Развитие идеи С. Л. Рубинштейна о самоопределении субъекта в современной социальной психологии / А. Л. Журавлев, А. Б. Купрейченко // Философско-психологическое наследие С. Л. Рубинштейна. Под ред. К. А. Абульхановой. – М.: Институт психологии РАН, 2011. – С. 216–233.

феномена самоопределения в трех контекстах: как *процесса*, как *состояния* (некоторый «срез» процесса в определенный период времени) и как *свойства субъекта* (личности или группы).

В составе процессов самоопределения личности А. Л. Журавлев выделяет две составляющие, раскрывающие его сущность: 1) процессы самопознания, самопреобразования, самотрансценденции (кем мог бы стать и что бы мог сделать), т.е. «самопроцессы»; 2) процессы познания и конструирования, преобразования и творения окружающего мира (без которых неосуществимо определение позиции субъекта в нем).⁴³

Социальное самоопределение личности соотносится с выбором социальной группы, к которой хочет принадлежать человек, а также осознание и преобразование своего положения внутри данной группы.

Профессиональное самоопределение связано с выбором профессиональной деятельности, карьерными ожиданиями и выбором способов достижения поставленных целей. Структура профессионального самоопределения может быть представлена в категориях: «*хочу*» (потребности, желания, интересы, стремления, ценностные ориентации, цели, планы, притязания); «*могу*» (относительно устойчивые психофизиологические и характерологические качества личности, склонности, способности, знания, умения, навыки и действия по их оценке), «*надо*» (требования общества к профессии) (Е. А. Климов,⁴⁴ В. Ф. Сафин⁴⁵). Профессиональное самоопределение вторично по отношению к личностному самоопределению

Кроме указанных видов самоопределения выделяют *жизненное, духовное, экономическое, политическое, этническое*.

Главным в содержании процесса самоопределения независимо от его вида является «... осознание жизненных целей и задач, ценностей и идеалов, ожиданий и притязаний, надежд и опасений, своих возможностей и способностей, а главное – жизненных принципов и смыслов. Осознание смысла позволяет и помогает объяснить, интерпретировать для других людей и, главное, для себя не только и не столько актуальную деятельность и текущее пове-

⁴³ Журавлев, А. Л. Развитие идеи С. Л. Рубинштейна о самоопределении субъекта в современной социальной психологии / А. Л. Журавлев, А. Б. Купрейченко // Философско-психологическое наследие С. Л. Рубинштейна. Под ред. К. А. Абульхановой. – М.: Институт психологии РАН, 2011. – С. 216–233.

⁴⁴ Климов Е. А. Психология профессионального самоопределения: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 304 с.

⁴⁵ Сафин, В. Ф. Самоопределение личности: теоретические и эмпирические аспекты исследования. Уфа: Гилем, 2004. – 258 с.

дение субъекта, сколько направления собственного жизненного поиска, выбор способов жизнедеятельности, путей развития: траектории личностных изменений, стратегического вектора движения, личностного роста и т.п.». Важным предметом осознания становятся для человека *жизненные этапы*, которые могут быть дифференцированными на прошедшие, настоящие и будущие.⁴⁶

На основе представлений о сущности самоопределения личности как феномена самосознания разрабатываются и реализуются технологии социализации и сопровождения сознательного выбора обучаемыми будущей профессии (В. И. Блинов, Е. В. Зачесова, Е. А. Климов, В. А. Полякова, И. С. Сергеев, С. Н. Чистякова и др.). Данные технологии ориентированы на разные адресные группы (работа с учащимися, испытывающими трудности в обучении, в развитии и социальной адаптации; индивидуализация профильной подготовки и профессиональная ориентация учащихся средних общеобразовательных школ; организационно-педагогическое сопровождение профессионального самоопределения детей и молодежи в условиях дополнительного образования с целью их адаптацию к жизни в обществе; выявление и поддержка учащихся, проявивших выдающиеся способности).

В системе продуктивного обучения направленность на социально-профессиональное самоопределение обучающихся относится к одной из его ключевых характеристик, поэтому содержание и методы организации обучения определяются в соответствии с этой целью. *Во-первых*, в рамках РЛ учащимися создаются продукты, относящие к конкретной сфере профессиональной деятельности. *Во-вторых*, обучение осуществляется в условиях свободного выбора учащимися направления практической работы, соответствующего его способностям и профессиональным устремлениям. *В-третьих*, система продуктивных проектов, выстроенная в соответствии с требованиями к профессиональной подготовки выпускников, направлена на их профессиональную ориентацию, осуществление различных этапов предпрофессиональной подготовки или профессионального образования. *В-четвертых*, работа по созданию продукта может быть определена как профессиональная проба, которая играет важную роль в будущем профессиональном самоопре-

⁴⁶ Журавлев, А. Л. Развитие идеи С. Л. Рубинштейна о самоопределении субъекта в современной социальной психологии / А. Л. Журавлев, А. Б. Купрейченко // Философско-психологическое наследие С. Л. Рубинштейна. Под ред. К. А. Абульхановой. – М.: Институт психологии РАН, 2011. – С. 216–233.

делении, выборе возможной специализации в рамках уже избранной профессии, а также способствует успешной адаптации в профессиональном социуме.

Самоопределение как феномен сознания (состояние, процесс) имеет содержательные результативные и процессуальные характеристики. В составе результативных характеристик выделяют: *самосознание, направленность личности, понимаемые в жизненной перспективе принципы и смыслы, ценности и идеалы, мотивы и интересы, цели и этапы жизни, способности и возможности и др.* К процессуальным отнесены *стратегия, стиль и образ жизни, жизненные сценарии, способы достижения целей, правила принятия решений и др.*⁴⁷ Еще одна группа характеристик относится к формально-динамическим. Укажем некоторые из них: *степень сформированности, гетерогенность/гомогенность системы ценностей, целей, мотивов; их устойчивость во времени, ситуативная изменчивость, характер динамики (поступательный, возвратно-поступательный, циклический и т. п.) и др.* Одним из важнейших формально-динамических показателей является *успешность самоопределения* (эффективность, действенность, адекватность).³⁸

Самоопределение направляет процессы самореализации, а результаты последней оказывают обратное влияние на самоопределение как сложного многофакторного динамического процесса, в частности на его устойчивость и поступательность. Формирование и реализация жизненных стратегий, образа жизни, жизненных сценариев растянуты во времени и осуществляются постепенно с изменчивой продолжительностью (масштабностью этапов), содержание которых зависит от личности субъекта, системы осуществляемых им деятельностей и среды окружения.

Для педагога является важным анализ содержательных характеристик самоопределения личности и отслеживание динамики самоопределения, поскольку это «... одно из важнейших условий его понимания и объяснения на каждом конкретном этапе развития индивидуального или группового субъекта».³⁸

Приведенные выше содержательные и динамические характеристики самоопределения представляют интерес в контексте анализа социально-профессионального самоопределения личности, поскольку профессия и про-

⁴⁷ Журавлев, А. Л. Развитие идеи С. Л. Рубинштейна о самоопределении субъекта в современной социальной психологии / А. Л. Журавлев, А. Б. Купрейченко // Философско-психологическое наследие С. Л. Рубинштейна. Под ред. К. А. Абульхановой. – М.: Институт психологии РАН, 2011. – С. 216–233.

фессиональный социум соотнесены с большим этапом, а иногда и со всем периодом жизнедеятельности человека. В этой связи приобретает особую важность реализация в продуктивном обучении стратегического подхода как методологической основы его организации. Суть данного подхода состоит в формировании у учащихся готовности к перспективному планированию своего профессионального образования и будущей профессиональной карьеры.

Основоположниками стратегического управления в его современном понимании (60–70-е годы XX столетия) принято считать А. Чандлера⁴⁸ и Г. Минцберга.⁴⁹ В психолого-педагогических исследованиях *стратегический подход* как методология управления деятельностью стал предметом внимания только в начале 90-х годов в контексте обсуждения вопросов долгосрочного планирования человеком программ самореализации (выбора цели, определения жизненной позиции, траекторий развития, средств и способов ее обеспечения). Реализация любой стратегии, по мнению К. А. Абульхановой-Славской, напрямую связана с умениями человека разрешать противоречия между идеальным планом и реальными условиями жизнедеятельности.⁵⁰ Эти умения рассматриваются как особые жизненные качества личности (*стратегическая компетентность*), которые формируются в реальной практической деятельности.

Стратегический подход в составе методологии продуктивного обучения может рассматриваться как важное дополнение к концепции социально-профессионального самоопределения, поскольку направлен на подготовку обучающихся к осуществлению в реальной деятельности состоявшегося профессионального выбора на примере конкретного проекта.

В рамках продуктивного обучения стратегический подход следует трактовать как сознательный процесс планирования учащимися саморазвития как важного условия успешной социальной адаптации и реализации своей главной жизненной цели, связанной с профессиональным самоопределением. Достижение этой цели в значительной мере обеспечивается за счет наличия *стратегического мышления* и способности к *самоорганизации*, поскольку

⁴⁸ Chandler, A. Strategy and Structure: Chapters in the History of the American Industrial Enterprise / A. Chandler – MIT Press, 1962. ... Industrial Enterprise, MIT Press, 1962. – 633 p.

⁴⁹ Mintzberg, H. Patterns in Strategy Formation Author(s): H. Mintzberg Source: Management Science, Vol. 24, No. 9 (May, 1978), pp. 934–948.

⁵⁰ Абульханова-Славская, К. А. Стратегия жизни. – М.: Мысль, 1991. – 299 с.

стратегия как жизненная позиция – это не только умение составлять общий план осуществления задуманного, но и конкретные действия по его воплощению в жизнь.

В условиях продуктивного обучения разработка и реализация *«стратегии продукта»* – важный опыт овладения навыками самоорганизации. Его приобретение осуществляется в совместной творческой деятельности учащихся и профессионалов в условиях реальной производственной практики. В более общем контексте отражением стратегического подхода является разработка, выполнение, корректировка индивидуальных программ пред- профессиональной или профессиональной подготовки обучающихся, в состав которых включается конкретная проектная деятельность, отвечающая своим содержанием профессиональным ориентирам обучаемого и его планируемой профессиональной специализации.

Теоретический анализ содержательных (результативных, процессуальных) и динамических характеристик самоопределения как феномена сознания, видов самоопределения, в том числе профессионального, а также необходимости стратегического планирования его реализации дает возможность составить целостное представление о сложности педагогического сопровождения данных процессов.

2.9. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНЫХ МОДУЛЕЙ ДИСЦИПЛИНАРНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ К РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИЮ В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИМУЛЯЦИЙ

Дисциплинарно-распределенная программа обучения включает пять модулей. Их состав и содержание приведены ниже.

1. Учебный эксперимент в курсе физики средней школы. Место эксперимента в системе методов научного познания. Виды физического эксперимента по цели исследования. Обобщенная структура эксперимента как метода познания. Состав и содержание экспериментальных действий и операций. Методика формирования у учащихся экспериментальных умений, особенности ее реализации средствами виртуальной среды. Компьютерные симуляторы учебного физического эксперимента. Требования к отбору симуляторов данного вида и методика их применения в обучении.

2. Компьютерное моделирование в учебном процессе по физике в средней школе. Компьютерное моделирование физических процессов как метод исследования. Место и роль данного метода в структуре научного поиска. Инструментальная и познавательная

составляющие метода. Компьютерный эксперимент как этап компьютерного моделирования, его связь с физическим экспериментом.

Обобщенная структура компьютерного моделирования как метода учебного исследования. Модель включения компьютерного моделирования в учебный процесс по физике в средней школе (содержание, методы и средства, формы занятий). Базовый и профильный уровни подготовки учащихся в области компьютерного моделирования физических процессов.

Методика формирования у учащихся представлений о компьютерном моделировании как методе познания в учебном процессе по физике. Уровневый подход к формированию умений учащихся в области компьютерного моделирования физических процессов.

Выбор «готовых» компьютерных симуляций физических процессов для проведения компьютерного эксперимента. Организация самостоятельной работы учащихся с «готовыми» компьютерными симуляциями: формирование в планировании и проведении компьютерного эксперимента. Реализация взаимосвязи компьютерного и физического экспериментов в учебном процессе по физике в средней школе.

Самостоятельное проектирование и разработка учащимися компьютерных симуляций физических объектов и процессов: с применением учебных конструкторов; с использованием программного обеспечения для создания компьютерных симуляций.

Частные вопросы методики изучения физических явлений с применением компьютерных симуляций (эмпирический и теоретический уровни познания). Требования к отбору компьютерных симуляций для учебного процесса по физике, анализ и реализация их дидактического и методологического функционала. Методика организации учебных занятий по физике разных организационных форм с применением компьютерных симуляций.

3. Основы методологии педагогического проектирования практики применения в обучении физике компьютерных симуляций и средств ее дидактического обеспечения.

Виды учебных компьютерных симуляций физических объектов и процессов. Методологический и дидактический функционал компьютерных симуляций.

Анализ методологических функций «готовых» компьютерных симуляций при их отборе для учебного процесса по физике. Выбор и реализация методологических функций компьютерной симуляции (гносеологической, интегрирующей, регулятивной) в процессе ее создания.

Дидактические аспекты проектирования учебных компьютерных симуляций. Выбор и реализация дидактических функций компьютерной симуляции физического явления (объекта, процесса). Разработка сценария компьютерной симуляции (на примере симуляций отдельных видов). Учебная сцена. Диалог «компьютер ↔ пользователь». Интерфейс компьютерной симуляции, требования к разработке. Метафора. Когнитивное расстояние. Нормирование. Визуализация результатов моделирования. Дидактические материалы для самостоятельной работы учащихся с «готовой» компьютерной симуляцией физического явления (объекта, процесса).

Учебные компьютерные симуляторы учебной деятельности: виды и назначение. Симуляторы учебного физического эксперимента (УФЭ): место и роль в учебном процессе. Требования к разработке. Дидактический эффект и негативные следствия применения в обучения. Дидактические материалы для самостоятельной работы учащихся с компьютерными симуляторами физического эксперимента. Модульный подход к разработке электронных образовательных ресурсов (ЭОР), включающих симуляторы УФЭ.

Методологические регулятивы проектирования и применения компьютерных симуляций в учебном процессе по физике. Анализ содержания системы данных регулятивов,

отражающих: а) структуру научно-педагогического знания и педагогического поиска; б) структуру методов учебного познания (физического эксперимента, компьютерного моделирования); в) обобщенные характеристики компьютерных симуляций, принципы и требования к их проектированию; г) методологические аспекты предметной дидактики, связанные с применением компьютерных симуляций в обучении физике.

4. Инструменты и технологии разработки компьютерных симуляций для учебного процесса по физике. Графические редакторы и технологии 3D-моделинга. Среды и языки программирования. Системы компьютерной математики. Технологии виртуальной и дополненной реальности. Инструменты для разработки цифровых дидактических материалов сопровождения работы учащихся с компьютерными моделями.

5. Экспертиза ЭОР. Требования к ЭОР. Психолого-педагогическая, содержательно-методическая, дизайн-эргономическая и технико-технологическая экспертиза ЭОР на соответствие техническим условиям с последующей сертификацией ЭОР. Системы добровольной сертификации аппаратно-программных и информационных комплексов образовательного назначения.

Элементы содержания учебных модулей приведенной выше программы обучения распределяются по дисциплинам и курсам предметных модулей учебного плана подготовки бакалавров по направлению 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки, профили "Физика и Информатика"). Вариант данного распределения приведен ниже (табл. 20). Как видно из таблицы освоение программы обучения организуется с учетом межпредметных связей методических дисциплин с дисциплинами общей и теоретической физики, высшей математики, информатики и информационных технологий.

Таблица 20

Содержание модулей дисциплинарно-распределенной программы	Учебные дисциплины и курсы (семестр)
1	2
Модуль 1. Учебный эксперимент в курсе физики средней школы.	Профиль «Физика» Методика обучения физике (6, 7, 8) Научный эксперимент (ДВ, 7) Школьный физический практикум (ДВ, 9) <i>Применение компьютерных моделей в обучении физике (ДВ, 9)</i>
Модуль 2. Компьютерное моделирование в учебном процессе по физике в средней школе.	Профиль «Информатика» Методика обучения информатике (6, 7, 8) Профиль «Физика» Технологии проектирования учебного процесса по физике (7) <i>Применение компьютерных моделей в обучении физике (ДВ, 9)</i>

1	2
<p>Модуль 3. Основы методологии педагогического проектирования практики применения в обучении физике компьютерных симуляций и средств ее дидактического обеспечения</p>	<p>Профиль «Физика» Разработка цифровых образовательных ресурсов по физике (7) Научно-исследовательская деятельность учителя средней школы (8) Методика обучения учащихся решению физических задач (8) <i>Проектирование информационных систем в образовании</i> (10) Дистанционные технологии в образовании (ДВ, 10)</p>
<p>Модуль 4. Инструменты и технологии разработки компьютерных симуляций для учебного процесса по физике.</p>	<p>Профиль «Физика» Общая физика (по разделам) (2–6) Теоретическая физика (по разделам) (5–9) Уравнения и методы математической физики (6) Численные методы (5) Основы теории вероятностей (7) <i>Проектирование информационных систем в образовании</i> (10)</p> <p>Профиль «Информатика» Программирование (2, 3, 7) Технологии проектирования интеллектуальных систем (5) Компьютерное моделирование (6) Компьютерное моделирование сложных систем (9) Практикум по компьютерному моделированию (ДВ, 6) Системы компьютерной математики (ДВ, 7) Компьютерная геометрия и графика (ДВ, 7)</p>
<p>Модуль 5. Экспертиза ЭОР.</p>	<p>Профиль «Физика» Мультимедиа технологии в образовании (ДВ, 7) Разработка цифровых образовательных ресурсов по физике (7) <i>Проектирование информационных систем в образовании</i> (10)</p>

Проектная деятельность студентов по созданию компьютерной модели учебного физического эксперимента (видов УКСЛЭ или УВЛЭ) и разработке практики ее применения в обучении осуществляется в рамках курса по выбору «Применение компьютерных моделей в обучении физике» (9 сем.) и учебной дисциплины «Проектирование информационных систем в образовании» (10 сем.). В ходе занятий по указанной дисциплине и курсу осваивается в полном объеме содержание модулей 2 и 3. Учебная деятельность организуется с применением технологий продуктивного обучения. Знания элементов

модулей 1, 4, 5 (технологические, предметные методические, методологические) и умения, приобретенные в рамках других учебных дисциплин, используются студентами в проектировании и создании компьютерных симуляций. В ходе продуктивной деятельности эти знания и умения уточняются, конкретизируются, совершенствуются.

2.10. РЕАЛИЗАЦИЯ СТРАТЕГИЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОДУКТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В предложенной в настоящем исследовании модели методов обучения применительно к системе РЛ используются следующие стратегии поддержки творческой продуктивной деятельности студентов: *содействия, сопровождения, активизации, проблематизации, ориентирования, оптимизации, интенсификации, приобщения и обогащения*. Это не рядоположенный перечень стратегий. Ведущими в этом составе являются стратегии *содействия* и *сопровождения*, которые реализуются через систему прочих стратегий.

Особую роль в успешности освоения обучающимися опыта самостоятельной деятельности и его совершенствовании играют стратегии *проблематизации, ориентирования и интенсификации*. Данные стратегии играют особую роль в успешности освоения обучающимися опыта профессиональной деятельности. Рассмотрим особенности их реализации применительно к рассматриваемой методической системе продуктивного обучения.

Стратегия проблематизации. Нередко считается, что присвоение обучающимися «готового» знания в системе традиционного обучения объяснительно-иллюстративного типа не является проблемным. Это не так: проблемой могут стать и способы поиска этого знания в учебной литературе, и ситуация его усвоения (осмысления, понимания, непротиворечивого «встраивания» в уже сложившиеся в сознании учащегося когнитивные схемы). Эта проблематика внутреннего психического плана, которая определяется предшествующим опытом деятельности учащегося. Внешняя проблематика самостоятельной работы продуцируется преподавателем и соотносится с «зонами ближайшего» и перспективного развития обучающихся. Содержание учебной проблемы могут составить: отсутствие или неполная информация об исследуемом объекте/процессе, а также отсутствие или неполная информация о способе ее добывания. В конкретной ситуации проектной деятельности

обучающийся может столкнуться с комплексом проблем и внутреннего, и внешнего планов.

Всякая проблемная ситуация, возникающая в ходе выполнения проекта, отражает «разрыв» между целью и предшествующим опытом студента и обнаруживает «дефицит» знаний и/или способа действия, что является побуждающим и активизирующим проектную деятельность фактором. Это приводит к обращению студентов к различным источникам информации с целью ликвидации образовавшегося познавательного дефицита и преодолению «разрывов» проектной деятельности. Именно по этой причине проблемный характер обучения – важнейшее условие полноценного развития личности, формирования у обучающегося «открытого» типа познавательного отношения к окружающей действительности (М. А Холодная).⁵¹

Количество проблемных ситуаций, их конкретное содержание, этапы деятельности, на которых они возникают, для каждого обучающегося сугубо индивидуальны и обнажаются только в процессе творческой работы. Величина «дозы проблемности» должна отслеживаться и регулироваться преподавателем. Реальная возможность преодоления затруднений определяется, с одной стороны, способностями студента к обучению и самостоятельному познанию, его мотивацией и волевыми качествами, с другой – временем, объективно отводимым в учебном процессе на разрешение проблемной ситуации [103, с. 191]. При планировании продуктивной самостоятельной работы студентов необходимо соотносить ее проблематику с их потенциальными личностными и познавательными возможностями, а также имеющимся практическим опытом. С этой целью необходимо: 1) снижать или повышать сложность продуктивных актов; 2) подбирать и осуществлять наиболее адекватные проблемным ситуациям стратегии поддержки самостоятельной проектной работы студентов.

Проблемные методы обучения занимают центральное место в системе продуктивного обучения. В их состав входят частично-поисковый и исследовательский методы.

⁵¹ Гельфман, Э. Г., Холодная, М. А., Демидова, Л. Н. Психологические основы конструирования учебной информации (проблема интеллектуальноемких технологий преподавания) // Психологический журнал. – Т.14. – 1993. – №6. – С. 35–45.

1. Ч а с т и ч н о - п о и с к о в ы й м е т о д включает следующие варианты:

1) *проблемная беседа* (преподаватель/наставник/ специалист выстраивает систему направляющих вопросов, содержание и последовательность которых направляют интеллектуальную деятельность учащихся по поиску способа действия);

2) *распределение поисковых функций между обучающимися и преподавателем* (специалистом/наставником):

а) часть наиболее сложных этапов проекта преподаватель выполняет сам;

б) преподаватель организует проблемную беседу с обучающимся на этапах, связанных с возникновением проблемной ситуации;

в) обучающемуся предлагается выполнять поиск решения возникшей проблемы в группе с другими членами проектной команды или в паре; при этом преподавателем оказывается помощь в решении этой проблемы в том или ином варианте (а или б);

г) обучающемуся предлагается самостоятельно выполнить поиск решения проблемы в группе или в паре с другим членом проектной команды;

3) *творческое планирование* (общая проблема или возникшая проблемная ситуация разбивается преподавателем на более простые проблемные задачи, которые обучающийся способен решить самостоятельно) [103, с.190–191].

2. И с с л е д о в а т е л ь с к и й м е т о д . Если источником информации выступает печатный текст, виртуальная среда, природа, в том числе, «вторая природа», то в случае применения исследовательского метода проблемного обучения обучающийся самостоятельно добывает информацию, осваивает при необходимости неизвестный ему способ ее приобретения. Дидактическая поддержка самостоятельной работы заключается в этом случае только в подборе проблемного задания, соответствующего «зоне ближайшего развития» студента, наблюдении за работой и корректировке его действий в случае необходимости на уровне эпизодических консультаций. Данный метод предусматривает участие студента в постановке основной проблемы проекта, а также самостоятельную постановку дополняющих проект проблем исследования.

Как видно, состав и содержание методов проблемного обучения указывает на выбор соответствующих стратегий поддержки продуктивной деятельности обучающихся. Для первых двух вариантов частично-поискового метода обяза-

тельной стратегией является *содействие*. Для всех методов проблемного обучения может быть применена стратегия *сопровождения*, центральным компонентом которой является создание необходимых условий, а также разработка и применение преподавателем соответствующих средств, направленных на грамотное планирование и выполнение обучающимися проектной деятельности.

Стратегия ориентирования. Данная стратегия связана с поддержкой действий обучающегося, направленных на анализ проекта и составляющих его продуктивных актов, возможных проблем в их выполнении, на построения плана решения общей и текущих задач проекта, определения системы контроля и коррекции действий по их решению. Для обучающегося важна ориентация в системе источников информации, в системе знаний интересующей области, а также в способах, средствах и технологиях работы.

Основу успешного планирования студентом решения конкретной проектной задачи составляет система методологических регулятивов, различающихся уровнем обобщения. Выделяют философский уровень методологии, общенаучную методологию и методологию отдельных наук.

Философский уровень методологии реализуется через систему общих ориентиров познания и деятельности и соотносится с любой сферой социальной практики, включая науку. Это мировоззренческие вопросы познания, его общая схема «от живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике», законы диалектики. К *общенаучной методологии* относятся анализ научного познания (его уровней и стадий), изучение структуры научного знания, выявление структуры общенаучных методов исследования. В *специальной методологии* раскрываются структура научного знания конкретной области, специфика процесса познания, состав и особенности структуры методов специальной науки. Эти уровни образуют «страты» познавательных регулятивов, которые в комплексе оказывают свое положительное воздействие на процесс выработки человеком процедурных моделей конкретной деятельности.⁵²

Представления об обобщенных структурах знаний и способах их добывания являются важным регуляторным механизмом исследовательской и проектной

⁵² Развитие самостоятельности школьников в учении в условиях обновления информационной культуры общества: В 2 ч.: Ч. II. Основы технологии развития самостоятельности школьников в изучении физики: Монография / Перм. гос. пед. ун-т. – Пермь, 2003. – 329 с.

активности, а именно: построения планов конкретных действий, их последующей реализации и контроля полученного результата. Данные структуры с точки зрения психологического анализа деятельности составляют ее ориентировочную основу (ООД). Согласно учению П. Я. Гальперина и Н. В. Талызиной о типах ООД наиболее продуктивными для использования являются 2-й, 3-й и 4-й типы.⁵³ *Первый тип ООД* (фактически метод проб и ошибок) тоже задействуется в творческой деятельности. *Второй тип ООД* характеризуется наличием всех необходимых ориентиров для правильного выполнения действия. Данные ориентиры предъявляются в готовом и конкретном виде, применимом только для частного случая выполнения действия. *Третий тип ООД* тоже имеет полный состав ориентиров, но они представлены в обобщенном виде, характерном для целого класса действий данного типа. Состав ориентиров обучаемый разрабатывает самостоятельно путем обобщения опыта выполнения действий данного вида. *Четвертый тип ООД* включает полную и обобщенную систему ориентиров, определяющих успешность деятельности. Данная ООД предъявляется обучаемому в готовом виде. Это целесообразно в ситуациях, когда процесс обобщения собственного опыта деятельности данного вида невозможен из-за его объективной неполноты или сложности, а также в ситуациях, когда необходимо ускорить процесс формирования готовности учащихся к выполнению деятельности. При разработке проектов студентами может быть использован (в зависимости от ситуации) любой из рассмотренных выше типов ООД.

В рамках рассматриваемой стратегии поддержки проектной работы студентов, связанной с разработкой компьютерных моделей физических процессов, в качестве ООД рекомендуются к применению методологические регулятивы 1–15 (п. 2.1.3, с. 102–129). Это ООД 4-го типа, которые предъявляются студентам в готовом виде, за исключением регулятивов 4 и 5, которые первоначально предлагаются студентам разработать самостоятельно.

Создание системы обобщенных методологических регулятивов как инструментов рационального планирования продуктивной деятельности и организация проектной работы на их основе, а также обучение студентов самостоятельной разработке обобщенных моделей некоторых видов деятельности образует ядро стратегии ориентирования. В случае затруднений в применении данных

⁵³ Талызина, Н. Ф. Управление процессом усвоения знаний. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1975. – 342 с.

ориентиров стратегия сопровождения дополняется стратегией содействия и реализуется, например, в форме совместного планирования.

Стратегия интенсификации. Обучение проектированию и собственно продуктивная проектная деятельность относятся к затратным по времени процессам. Это связано с тем, что, *во-первых*, акцент в обучении этого типа ставится, прежде всего, на формировании у студентов профессиональных умений, которые формируются постепенно, *во-вторых*, продуктивная деятельность при выполнении проекта носит, как правило, проблемный характер, а ее результативность определяется уровнем готовности обучающихся к решению творческих задач. В связи этим вопрос об интенсификации РЛ является весьма актуальным.

Под интенсификацией учебного процесса понимается его организация с применением системы условий, методов и средств обучения, обеспечивающих достижение поставленных целей за меньшее время или/и за то же время, но на более высоком уровне качества образовательного результата. При этом должен быть исключен какой-либо ущерб психофизиологическому состоянию обучающихся. Вопросы интенсификации обучения в разных областях знаний исследовались Ю. К. Бабанским, В. П. Беспалько, А. М. Зимичевым, И. А. Зимней, Г. А. Китайгородской, В. В. Краевским, И. Я Лернером, А. А. Леонтьевым, В. А. Сластениным, Н. Ф. Талызиной, Н. А. Половниковой и др. Авторами выделяются различные условия решения задачи интенсификации обучения. В практическом плане такое решение сводится, как правило, к построению конкретной технологии обучения, которая не может быть универсальной, поскольку всегда встраивается в ту или иную педагогическую систему. В этой системе условия интенсификации обучения уточняются по составу и средствам реализации. На это обстоятельство в свое время обращал внимание Ю. К. Бабанский, связывая процессы интенсификации и оптимизации обучения: «Главное состоит в том, чтобы не возводить в абсолют тот или иной подход к обучению, не преувеличивать роль отдельных методов, а показать, в какой ситуации какой из теоретико-методических вариантов окажется наиболее подходящим».⁵⁴

Рассмотрим основные условия и способы интенсификации учебного процесса, реализуемые в рамках технологии продуктивного обучения.

⁵⁴ Бабанский, Ю. К. Оптимизация процесса обучения: Общедидактический аспект, М., 1977. – 254 с.

Анализируя возможные подходы к интенсификации учебного процесса, первое, на что следует обратить внимание, – это динамические параметры учебной работы студентов и, в частности время, затрачиваемое ими на выполнение проектных заданий. Временные затраты определяются: 1) скоростью познавательных процессов (*восприятия, воспроизведения, представления, воображения, памяти, речи, мышления*); 2) темпом письменной речи; 3) скоростью выполнения практических действий на основе освоенных умений и сформированных навыков деятельности конкретного вида. Для каждого учащегося эти динамические характеристики варьируются в некоторых психофизиологических пределах, границы которых, что немаловажно, определяются уровнем его заинтересованности в результатах решения поставленной задачи. Для вывода обучающегося *за верхнюю границу этих пределов* должны быть созданы специальные условия. Это серьезная и целенаправленная работа преподавателя и обучающегося, причем работа «вдолгую», и с ее содержанием связано первое условие интенсификации обучения.

Первое условие – это систематическая работа преподавателя по совершенствованию системы познавательных процессов обучающихся, формированию у них способов умственных действий, а также практических умений и навыков. Развитие познавательного «инструментария», необходимого для обучения в повышенном темпе, должно осуществляться с учетом индивидуального стиля деятельности, более того, с неременной ориентацией на формирование разных познавательных стилей. Это обеспечит обучающемуся впоследствии возможность выбора в конкретной учебной ситуации наиболее оптимального из них или использования комбинации этих стилей. Пренебрежение индивидуальными особенностями познавательной и практической деятельности приводит к включению «защитных механизмов» психики и может не только тормозить, но и блокировать решение учебных задач. Не способствует интенсификации обучения отсутствие у обучающихся достаточного стилевого разнообразия познавательной деятельности (М. А. Холодная).⁵⁵

Наращивание темпа обучения преподавателем осуществляется по мере роста познавательных возможностей студентов. Обучение в интенсивном режиме – это напряженный в психофизиологическом отношении процесс, поэтому реко-

⁵⁵ Холодная, М. А. Формирование персонального познавательного стиля ученика как одно из направлений индивидуализации обучения // Школьные технологии. – 2000. – №4. – С. 12–16.

мендуется режим периодической смены интенсивности учебной работы. Однако важно учитывать, что восприятие высокого темпа работы как комфортного возникает в случаях ее *непроизвольного характера* (или снижении процента произвольности), например, при использовании, контекстных учебных заданий, различных форм совместной деятельности, игровых технологий обучения и т.п. Причиной тому положительная мотивационная «включенность» обучающихся, поэтому целенаправленное формирование мотивационной сферы учебной деятельности до необходимого уровня устойчивости и ее актуализация в ходе занятий – важный фактор интенсификации обучения.

Особую важность в условиях продуктивного обучения приобретает *интенсификация творческой деятельности*. Решение этой задачи тоже связано с развитием соответствующих умений – особых способов умственной деятельности как «инструментов» *творческого мышления* – и с формированием *индивидуального стиля* творческого поиска на основе освоения его разных стилей. Задача преподавателя состоит в развитии «индивидуального своеобразия склада ума», роль которого, как отмечает М. А. Холодная, состоит в возможности появления у человека новых оригинальных идей.⁵⁶

Среди разнообразия познавательных стилей М. А. Холодная выделяет *стиль постановки и решения проблем*. Данный стиль проявляется в индивидуальных способах выявления, формулировки проблем и поиска вариантов их решения. Автор выделяет несколько его вариантов: 1) *алгоритмический* или исполнительский (достижение поставленных целей на основе ранее освоенных способов деятельности); 2) *эвристический* (достижение цели на основе самостоятельно найденных способов деятельности); 3) *исследовательский* (самостоятельная постановка целей деятельности, сбор информации и ее анализ, поиск и рассмотрение на различные варианты анализа проблемы); 4) *креативный* или инновационный (самостоятельная постановка новых целей, выдвижение новых идей, выход за пределы требований выполняемой деятельности, т.е. надситуативная активность); 5) *медитативный* (ориентация на работу со смыслами по отношению к отдельным понятиям, традиционным подходам и т. п.).⁴⁸

Включение в творческий поиск ценно не столько полученным обучающимися результатом (созданным оригинальным продуктом), сколько развитием их

⁵⁶ Холодная, М.А. Формирование персонального познавательного стиля ученика как одно из направлений индивидуализации обучения // Школьные технологии. – 2000. – №4. – С. 12–16..

творческого мышления. В процессе продуктивной деятельности формируются такие его значимые характеристики как *беглость, гибкость, оригинальность, разработанность, сопротивление замыканию* (по Э. Торренсу).⁵⁷ Существует достаточно много разнообразных методик развития творческого мышления: методика шести шляп (для всестороннего анализа проблемы); метод выхода за рамки (отказ от ограничений), методика SCAMPER (внесение возможных изменений в работу с конкретным объектом при поиске новых идей) и др. Целенаправленное развитие творческого мышления студентов не только интенсифицирует учебный процесс *PL*, но и обеспечивает особое качество их профессиональной подготовки – их потенциальную успешность в будущей трудовой деятельности.

Итак, «формулой» первого условия интенсификации является: 1) *наращивание темпа обучения на основе системной работы по совершенствованию познавательного потенциала студентов*; 2) *учет индивидуального стиля познавательной деятельности и обеспечение ее стилевого разнообразия*; 3) *развитие творческого мышления, формирование индивидуального стиля творческой деятельности*; (4) *развитие положительной мотивации учебной деятельности, опора на ее актуальные составляющие*.

Второе условие касается выбора способов предъявления учебной информации (концептуальной, процессуальной). Одним из самых эффективных является способ укрупнения дидактических единиц содержания обучения (И. М. Эрдниев).⁵⁸ Укрупнение и соответственно уплотнение информации достигаются за счет систематизации и обобщения осваиваемых знаний. Подлежащий усвоению студентами материал должен быть представлен как обобщенная концептуально-процессуальная система, охватывающая целостный смысловой блок. Дидактическими единицами процесса обучения при этом являются элементы системы фундаментального, педагогического и методического знания и виды деятельности, связанные с его приобретением / «добыванием».

Особую роль в интенсификации обучения в вузе приобретает систематизация и обобщение учебного материала на его *методологическом уровне*. Обобщенные методологические схемы знаний (концептуальных, процессуальных)

⁵⁷ Виноградова, Т. И. Беглость, гибкость и оригинальность как основные компоненты в структуре креативности // JSRP. 2014. №4 (8). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/beglost-gibkost-i-originalnost-kak-osnovnyye-komponenty-v-strukture-kreativnosti> (дата обращения: 04.03.2023).

⁵⁸ Эрдниев, П. М. Укрупнение дидактических единиц как технология обучения. – М.: Просвещение 1992. – 256 с.

позволяют представить содержание продуктивного обучения в виде системы максимально укрупненных единиц. Их состав, связи между ними способствуют осознанному усвоению учебного материала, успешному овладению его познавательным функционалом и формированию у обучающихся, что существенно, *системного мышления* (Дж. Бруннер, В. В. Давыдов, Л. В. Занков, М. Н. Скаткин, Д. Б. Эльконин, И. М. Эрдниев и др.).

Вторым интенсифицирующим фактором является использование *визуальных схем представления структуры методологического знания*. Эффективность применения в обучении визуализаций знаний теоретически обоснована и экспериментально подтверждена в педагогической науке (З. И. Калмыкова^{59, 60}). Тому доказательство широкая практика применения в обучении технологии схемных и знаковых моделей В. Ф. Шаталова [125], технологии визуализации учебного материала (Г. В. Лаврентьев, Н. Б. Лаврентьева, Н. А. Неудахина) и др. Эффект достигается благодаря возможности через эти визуализации целенаправленно формировать у обучающихся наиболее адекватные «мыслеобразы» при изучении нового, неизвестного. При этом учащиеся ориентируются не только на усвоение знаний, «... но и на приемы этого усвоения, на способы мышления, позволяющие увидеть связи и отношения между изучаемыми объектами, а значит, связать отдельное в единое целое».⁶¹ Дидактическое сопровождение логических действий (анализа, синтеза, сравнения, систематизации, обобщения, выявления связей и отношений, абстрагирования и конкретизации и др.) является важным назначением средств когнитивной визуализации.⁶² При этом уплотненные, сжатые, («компрессированные» в определении Н. П. Бехтерева) визуальные коды стимулируют активное мышление.⁶³ В обучении могут быть использованы разные методы и техники визуализации (граф, диаграмма связей, ментальная карта, логико-смысловые и логико-графические модели, продукционная модель (набор правил, предписаний к действию), фреймовая модель, когнитивно-графические элементы, метаплан, инфографика и др.). Примеры визуализаций методологического знания в форме структурных и логико-графических и продукционных мо-

⁵⁹ Калмыкова, З.И. Продуктивное мышление как основа обучаемости. М.: Педагогика, 1981. – 200 с.

⁶⁰ Калмыкова, З.И. Развивает ли продуктивное мышление система обучения В.Ф. Шаталова? //Вопросы психологии. – 1987. – № 2. – С. 71–80.

⁶¹ Лаврентьев, Г.В. Инновационные обучающие технологии в профессиональной подготовке специалистов. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2004. – 232 с.

⁶² Манько, Н.Н. Когнитивная визуализация дидактических объектов в активизации учебной деятельности // Известия Алтайского государственного университета. – 2009. – № 2 (62). – С. 22–28.

⁶³ Бехтерева, Н. П. Мозговые коды психической деятельности / Н. П. Бехтерева [и др.]. – Ленинград, 1977. – 84 с.

делей представлены в п.1.2.1 (с. 37–40), п. 1.2.3 (с. 51–53), п. 1.3.2. (с. 63–66), п. 2.1.3 (с. 105–109, 110, 112–115, 118,119, 127) настоящей работы.

Третьим интенсифицирующим фактором является *полиmodalность представления содержания обучения* как отражение существующей полиmodalности приобретения человеком социального опыта. В связи с этим важна активизация большинства из возможных сенсорных каналов обучающихся, среди которых в учебной практике в наибольшей степени используются зрительный, слуховой, кинестетический. Предпочитаемые индивидуальные комбинации сенсорных каналов восприятия информации свидетельствуют о своеобразии «видения действительности» каждым человеком и избирательности восприятия информации. Возможность работы с информацией на основе индивидуального modalного опыта обеспечивает обучающимся комфортный режим информационного потребления, что способствует его оптимизации и повышению эффективности (М. А. Холодная).⁶⁴ Особое внимание в этом случае следует обратить на полиmodalность виртуальной информационной среды и возможности ее применения в представлении содержания учебной информации в различных форматах (текстовом, знаково-символьном, аудиальном, анимационном, видеотрансляционном и др.).

Четвертым фактором интенсификации является *интеграция содержания фундаментальной и методической подготовки студентов*. Данная интеграция базируется на реализации междисциплинарных связей в решении задачи освоения студентами методологии физического эксперимента и компьютерного моделирования как методов познания и задачи применения данной методологии в профессиональной педагогической деятельности. Влияние интеграционных процессов в формировании содержания обучения на оптимизацию временных затрат по его освоению обучающимися общеизвестно.

Итак, «формулой» второго условия интенсификации является: (1) *опора на укрупненные дидактических единицы содержания обучения, связанные с элементами системы методологического знания*; (2) *использование визуальных схем представления методологического знания*; (3) *полиmodalность представления содержания обучения, в том числе с применением возможностей вирту-*

⁶⁴ Холодная, М. А. Психология интеллекта. Парадоксы исследования. – СПб.: Питер, 2002. – 272 с.

альной информационной среды; (4) интеграция содержания фундаментальной и методической профессиональной подготовки студентов;

Третье условие связано с ликвидацией/снижением «простоев», непроизводительных временных затрат учебной работы, что определяется ее осознанным и целесообразным характером. Определим способствующие этому факторы.

Во-первых, важны ясность цели и плана проектной деятельности (его тактического и стратегического вариантов), норм и правил работы, требований к результату.

Во-вторых, существенную роль играет технологическое обеспечение учебной работы (*материальное, информационное, дидактическое*) и возможность обращения к самостоятельному поиску необходимой информации. Одним из эффективных инструментов для решения этих задач является виртуальная образовательная среда. На современном этапе информационно-коммуникационные технологии играют ведущую роль в представлении учебной информации и ее оперативной обработке. Временные потери сокращаются за счет ресурсной и инструментальной насыщенности предметной виртуальной среды, ее «интеллектуальности» и производительности.

В-третьих, большое значение имеет реализация разнообразных форм и рациональных способов взаимодействия участников проектной работы. Информационный обмен и познавательное сотрудничество оказывают существенное влияние темпы продуктивной деятельности.

В-четвертых, неотъемлемой составляющей рационально организованной проектной работы является ее рефлексия. Как интеллектуальная процедура рефлексия соотносится именно с осмысленной деятельностью, направленной на самопознание, включает контроль действий и оценку их результата, является инструментом выявления и предупреждения ошибок, своевременной корректировки способов решения поставленных задач. А. Шаров справедливо рассматривает рефлексию как «сквозной» механизм самоорганизации, охватывающий все компоненты структуры деятельности (целеполагание, планирование, исполнение, контроль).⁶⁵ К функциям рефлексии относятся: регулятивная и познавательная. Эффективности деятельности способствует применение разных видов рефлексии: индивидуальной и коллективной; внутренней и внешней; ситуативной, рет-

⁶⁵ Шаров, А. Принципы и методы рефлексивного обучения в вузе // Высшее образование в России. – 2008. – №.6. – с. 110–114.

роспективной и перспективной, содержательной и формальной; саморефлексии и взаиморефлексии. (Ю. В. Щербинина,⁶⁶ С. Г. Выборнова,⁶⁷ А. В. Карпов⁶⁸).

Итак, «формулой» третьего условия интенсификации учебной деятельности является: 1) *осознанность ее структуры*; 2) *технологическое обеспечение (материальное, информационное, дидактическое)*; 3) *обеспечение разнообразных форм и способов взаимодействия участников проекта*; 4) *рефлексия продуктивной деятельности как инструмент осознанной саморегуляции и самопознания*.

2.11. ХАРАКТЕРИСТИКА ЭТАПОВ ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ

Рассмотрим содержание основных этапов проектной работы студентов по созданию интерактивных компьютерных симуляций УФЭ.

Первый этап. *Анализ проблематики PL, определение объекта проектирования.* Начало работы на этом этапе связано организацией краткого лекционного цикла, включающего вводную, обзорную и проблемную лекции. Их назначение раскрыто в п. 2.3 диссертации (с. 152–153).

Обозначим ключевые вопросы проблемной лекции, которая может рассматриваться как «пусковой механизм» продуктивного обучения, поскольку связана с анализом «проблемного поля» предстоящей проектной деятельности и определением подходов к решению обозначенных проблем.

Стержневой идеей лекционного цикла является встроенное в его содержание обсуждение инструментария проектной деятельности. Это комплекс методологических регулятивов из четырех групп, отражающих: а) структуру научно-педагогического знания и педагогического поиска; б) структуру методов учебного познания (физического эксперимента, компьютерного моделирования); в) обобщенные характеристики компьютерных симуляций, принципы и требования к их проектированию; г) методологические ориентиры предметной дидактики, связанные с применением КС в обучении физике.

⁶⁶ Щербинина, Ю. В. Педагогический дискурс: мыслить – говорить – действовать: учеб. пособие – М.: Флинта, 2010. – 440 с.

⁶⁷ Выборнова, С.Г. Рефлексия и интроспекция в развитии человека: автореф. дис.... докт. философии в области психологии.– СПб, 2010 – 44 с.

⁶⁸ Карпов, А. В. Рефлексивность как психическое свойство и методика ее диагностики // Психологический журнал. – 2003. – Т. 24. – № 5. – С. 45–47.

Методологические регулятивы проектирования практики применения КС УФЭ в обучении физике в средней школе

1. Структура современного научно-педагогического знания и педагогического поиска.
2. Выбор методологического подхода к проектированию педагогической практики.
3. Компьютерные симуляции в системе методов и уровней научного познания:
 - структурные элементы метода компьютерного моделирования, экспериментального и теоретического методов исследования явлений природы и их взаимосвязь;
 - место компьютерного моделирования в общем цикле научного познания;
 - структура научного поиска на эмпирическом уровне познания и место КВЭ в данной структуре.
4. Обобщенная модель компьютерного моделирования как метода учебного исследования.
5. Обобщенная модель выполнения учебного компьютерного эксперимента на основе:
 - полного цикла моделирования (*вариант 1*);
 - работы с «готовой» компьютерной симуляцией (*вариант 2*).
6. Дидактические цели учебного физического эксперимента (УФЭ).
7. Обобщенная модель УФЭ как метода учебного исследования.
8. Научно-методические основы проектирования и применения компьютерных симуляций учебного физического эксперимента.
9. Классификация компьютерных симуляций.
10. Методологические функции компьютерных симуляций, в том числе симуляций УФЭ.
11. Дидактические функции компьютерных симуляций, в том числе симуляций УФЭ.
12. Обобщенные характеристики учебных компьютерных симуляций УФЭ.
13. Проектирование пользовательского интерфейса компьютерных симуляций УФЭ.
 - требования к пользовательскому интерфейсу учебной компьютерной симуляции;
 - принципы проектирования интерактивных компьютерных симуляторов УФЭ с реалистичным интерфейсом.
14. Модель освоения учащимися средней школы компьютерного моделирования как метода познания.
15. Методология проектирования педагогической практики.

Рассмотрим проблематику проектной деятельности, которая является предметом обсуждения в ходе лекционных занятий со студентами, и методологические «инструменты» решения обозначенных проблем.

Разработка компьютерных симуляций физических процессов, включая симуляции физического эксперимента, лежит в плоскости решения глобальной проблемы цифровой трансформации образования, значимость которой трудно переоценить. В связи с этим представляет интерес известное утверждение *Н. Негропонте*: «Все, что может быть переведено в цифру, будет

цифровым» [Цит. по: ⁶⁹]. Насколько справедливо это утверждение в отношении учебного физического эксперимента? (*Проблема 1*).

В ходе дискуссии по данному вопросу определяются разновидности цифрового формата учебного эксперимента, имеющие выраженный дидактический потенциал.

1. Цифровое видео с целью дополнения (расширения) базового перечня учебных опытов новыми видами:

- природных явлений и результатов наблюдений за природными процессами;
- натуральных экспериментов (научных, учебных);
- тематических серий учебных опытов (наблюдений, экспериментов), которые в необходимом объеме невозможно выполнить в условиях школьной практики, но результаты которых важны для последующего анализа, систематизации и обобщения, а также подтверждения положений физических теорий.

2. Интерактивное видео натурального учебного эксперимента с широким спектром приемов организации его просмотра, самостоятельной работы учащихся по его анализу и контролю усвоения содержания.

3. Анимация и виртуальные симуляции фундаментальных научных экспериментов (например, опыта Э. Резерфорда, опыта О. Штерна, опыта Ш. Кулона с крутильными весами и др.), которые являются недоступными для показа в условиях школьной среды.

4. Интерактивные симуляции учебного демонстрационного эксперимента, реализованные средствами современной компьютерной графики. Акцентированная визуализация наиболее значимых элементов установки и устройства ее отдельных блоков, существенных характеристик исследуемых объектов и процессов, техники и методики постановки эксперимента, его основных результатов. Моделирование и визуализация в виртуальной среде микрообъектов и микропроцессов, исследуемых в эксперименте.

5. Интерактивные симуляции лабораторного эксперимента как средства формирования у учащихся представлений об экспериментальном методе изу-

⁶⁹ Прохоров, А., Коник, Л. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт. – URL: <https://books.google.ru/books?id=JQx2DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false> (дата обращения: 17.11.2022).

чения явлений природы и отработки отдельных экспериментальных умений. Выполнение интерактивных виртуальных лабораторных работ (в классе и в домашних условиях) с целью обогащения практики подготовки учащихся в области самостоятельных экспериментальных исследований.

6. Виртуальные интерактивные экспериментальные задания повышенной сложности как средство подготовки наиболее способных учащихся к решению нестандартных экспериментальных задач (Д. А. Антонова) [8, с.19–20].

Компьютерные симуляции физического эксперимента, обозначенные в составе указанных выше его цифровых форматов, оценены как целесообразные. Однако в чем заключается их дидактический потенциал? (*Проблема 2*). Ответом на этот вопрос является анализ назначения и структуры УФЭ как метода познания (*регулятивы 6,7*), системы *дидактических функций* компьютерной симуляции и ее конкретизации применительно к КС учебного физического эксперимента (*регулятив 11*).

Следующий вопрос для обсуждения – это «минусы» виртуального формата физического эксперимента (*Проблема 3*). Анализ негативных следствий виртуального экспериментирования позволяет обсудить со студентами место и роль компьютерной симуляции физического эксперимента в учебном процессе по предмету (п. 1.3.2, с. 78) и вывести дискуссию на проблему выбора уровня цифровой трансформации УФЭ и обоснования данного выбора (*Проблема 4*).

В общем случае можно выделить три таких уровня. *Первый уровень*: элементы учебно-воспитательного процесса переводятся в полном объеме в цифровой формат с целью обеспечения более высокого образовательного результата (eLearning, mLearning). *Второй уровень*: обеспечивается «гибридный» (смешанный) подход к реализации цифровой трансформации (Blended Learning или Hybrid Learning), при котором наряду с обучением в классе (Face-To-Face Learning) применяется разнообразная компьютерная аппаратная техника, в том числе мобильные устройства, а также локальные и сетевые ресурсы и инструменты виртуальной среды. *Третий уровень*: обучение осуществляется в своем классическом варианте (Brick and Mortar Education), а ИКТ применяются лишь в ограниченной ресурсной или инструментальной форме как технологии, усиливающие наглядность и информационную насыщенность обучения (Д. А. Антонова) [8, с. 18–19].

Итогом обсуждения является вывод о том, что для цифровой трансформации учебной деятельности, связанной с выполнением физического эксперимента, является целесообразным *смешанный подход* (Blended Learning). Высокий дидактический потенциал виртуальных симуляторов физического эксперимента определяет необходимость их разработки и применения в обучении. При этом такие симуляторы УФЭ должны использоваться в обучении как эффективное средство *дополнительной подготовки* учащихся в области методологии экспериментального исследования.

Дидактические функции КС учебного физического эксперимента должны быть дополнены рассмотрением методологических функций данной компьютерной симуляции УФЭ (регулятив 10). В связи с этим первоначально обсуждаются общий состав методологических функций КС (*гносеологических, интегративных, регулятивных*). Далее анализируется методологический функционал компьютерной симуляции конкретного вида – симуляции физического эксперимента вида УВЛЭ (или «скрытый» вычислительный эксперимент).

Особенностью КС учебного физического эксперимента вида УВЛЭ является то, что на ее основе представлена методология двух методов научного познания. Это компьютерное моделирование как метод исследования модели работы установки для физического эксперимента и собственно методология экспериментального исследования за счет имитации хода этого исследования средствами симулятора.

Физический эксперимент и компьютерное моделирование в системе методов научного поиска играют важную роль. В связи с этим представляет интерес обсуждение их места и роли в научном познании (регулятивы 3, 4, 7) (п. 2.1.3, с.111–117). Как следствие данного обсуждения раскрывается система противоречий образовательной подготовки по физике учащихся средней школы: 1) между системой современных методов познания в физике и системой методов, которой овладевают школьники в массовой учебной практике, включающей физический эксперимент при отсутствии связанного с ним компьютерного моделирования (КМ) как метода познания (согласно ФГОС СОО); 2) между наличием комплекса знаний и начального опыта КМ, которые школьники осваивают при изучении информатики, и отсутствием практики использования этих знаний и опыта в курсе физики как актуальной

предметной области применения данного метода; 3) между наличием ЭОР, включающих компьютерные симуляции по физике, и сложившейся практикой их применения в обучении, не отвечающей задачам формирования представлений учащихся о компьютерном моделировании как методе познания.

На основе анализа данных противоречий формулируется ключевая проблема предстоящей продуктивной проектной деятельности. *Как преобразовать практику обучения физике, чтобы ее результатом стало приобретение учащимися начального опыта применения компьютерного моделирования как метода познания? (Проблема 5).*

Последовательный анализ *проблем 1-5* имеет своим следствием обоснование необходимости преобразования практики обучения физике в средней школе в следующих направлениях: 1) включение КМ в систему методов познания физических явлений (*регулятив 3*), 2) учет возможностей и реализация межпредметных связей физики с курсом информатики при освоении учащимися компьютерного моделирования как метода познания физических явлений (*регулятивы 4, 5*); 3) оценка возможных уровней освоения учащимися КМ и их реализация при изучении курса физики (формирование уровней модели обучения) (*регулятивы 4, 5, 14*); 4) определение средств обучения, в частности учебных компьютерных симуляций физических процессов (их видов, требований к интерфейсу и дидактическим материалам сопровождения); оценка их методологических и дидактических функций (*регулятивы 9, 10, 11, 13*); 5) научно-методическое обоснование содержания и создание прототипов данных средств обучения (*регулятивы 1-8, 12, 15*), подготовка проектов УМК учебных занятий с их использованием (*регулятивы 3-8, 10-11, 14*); 6) апробация обновленной практики обучения в курсе физики средней школы. Данные направления фактически определяют содержание продуктивной деятельности студентов. Разработка данных направлений, как показано, базируется на применении методологических *регулятивов 1-15*.

В рамках проблемной лекции должно быть уделено внимание содержанию методологических *регулятивов 1, 2* и *15*, отражающих структуру научно-педагогического знания и педагогического поиска, а также общую логику проектной деятельности. Преподаватель дает комментарий к каждому регулятиву, приводит конкретные примеры элементов педагогического знания. Особого внимания заслуживает вопрос о выборе подходов к разработке

и обоснованию проектного решения. Целесообразна для использования студентами «мягкая» форма применения составляющих теоретико-методологического основания проектирования учебного процесса с применением КС, что ориентирует их на свободный поиск идей, методов и качественных характеристик проектируемого учебного процесса с целью обеспечения его наибольшей эффективности. Необходимо наметить линии поиска теоретико-методологических оснований проектной деятельности студентов. К таким основаниям проектирования могут быть отнесены: а) *деятельностный подход к формированию системы знаний* (Л. С. Выготский, П. Я. Гальперин, В. В. Давыдов, А. Н. Леонтьев, Н. А. Менчинская, Н. Ф. Талызина, Д. Б. Эльконин), б) *учение о типах ориентировочной основы деятельности* (П. Я. Гальперин, Н. Ф. Талызина), в) *концепции становления самостоятельности личности* (Б. Г. Ананьев, П. К. Анохин, Б. Ф. Ломов, В. С. Мерлин, В. И. Степанский, Н. А. Холодная, Т. И. Шамова) и теоретические основы *проблемного обучения* (А. М. Матюшкин, М. И. Махмутов, А. В. Брушлинский, Т. В. Кудрявцев, И. Я. Лернер), а также элементы *контекстного, лично-ориентированного, компетентностного* и др. подходов к организации учебного процесса. Кратко рассматриваются примеры применения в организации учебной работы школьников элементов современного научно-методического знания, рекомендуется литература для самостоятельного поиска и изучения возможных подходов к организации учебного процесса с применением КС. Обсуждается в связи с этим содержание *регулятива 8* «Научно-методические основы проектирования и применения компьютерных симуляций УФЭ» как инструмента ориентировки в системе ранее освоенных студентами основ теории и методики обучения физики, необходимых для выполнения проекта.

После вступительного лекционного курса студенты самостоятельно работают с заданиями *K1–K5* (табл. 10, с.159–162), что позволяет им углубиться в проблематику предстоящей продуктивной деятельности, проанализировать методологические и научно-методические подходы к решению обозначенных проблем. Это работа в малых группах, связанная с подготовкой аналитических обзоров и конспектов, академических эссе. В помощь студентам может быть предложена детализация проблематики проекта в виде ранжированного перечня данных проблем (с. 314–315).

Параллельно организуется выбор учебной темы проекта и темы учебного модуля. Каждому студенту в итоге предстоит определить тот физический эксперимент, симуляцию которого он будет создавать. Выполняется углубленный анализ *методологических* и *дидактических функций* компьютерных симуляций физического эксперимента (п. 1.2.2 и 1.3.2.) и осуществляется их предварительный выбор для проектируемой модели.

На этом же этапе решается задача выбора технологий создания компьютерной симуляции. С этой целью выполняются *задания K15–16*, в академической группе обсуждаются результаты их выполнения.

Процессуальная составляющая этапа состоит в совершенствовании опыта применения (в ряде случаев дополнительного освоения) избранных технологий разработки проекта. Студентами выполняется *задание III*. При необходимости их работа обеспечивается дидактическими материалами и консультациями преподавателей, инженера и программиста Лаборатории.

Второй этап. *Предпроектное исследование объекта разработки.*

Концептуальная составляющая проекта на этом этапе связана с выполнением *заданий K6–10*. Объектом внимания студентов должны стать содержание и методика преподавания соответствующей проекту учебной темы школьного курса физики, для сопровождения которой разрабатывается компьютерная симуляция физического эксперимента. Студентам предстоит обратиться к материалам школьных учебников и учебных пособий по теме проекта. Необходимо повторение (в ряде случаев углубленное изучение) по учебной теме модуля следующих вопросов: 1) методика изучения научных фактов, формирования понятий, введения физических законов, освоения элементов физических теорий, изучения элементов научно-технического знания; 2) методика и техника постановки лабораторного и демонстрационного экспериментов; 3) структура и содержание учебной деятельности, связанной с выполнением физического эксперимента; 4) методика формирования у учащихся экспериментальных умений и навыков (конкретных, обобщенных).

Студентам предстоит внимательно изучить особенности выполнения физического эксперимента, являющегося объектом компьютерной симуляции. Рекомендуется рассмотреть различные варианты методики и техники

его постановки и отобрать для моделирования дидактически наиболее целесообразный из них.

Принципиально важными являются самостоятельная постановка и выполнение физического эксперимента, планируемого к моделированию средствами виртуальной среды. Специфика работы реальной экспериментальной установки, качественные и количественные результаты эксперимента будут важны впоследствии как для проектирования его компьютерной модели, так и для ее тестирования на корректность. Эта информация потребуется и для разработки проекта учебного занятия с применением данной модели, определения в структуре занятия места виртуального и физического экспериментов и их взаимосвязи.

Серьезное внимание должно быть уделено анализу содержания и форматам представления в цифровой среде проектируемого виртуального эксперимента (рисункам, фото- и видеоматериалам, анимации, тренажерам). Особенно важен углубленный анализ предшествующего опыта создания подобных компьютерных симуляций (при наличии).

Полезным является исследование КС физических экспериментов по учебной теме в целом (особенно в ситуации разработки новой модели, аналогов которой не обнаружено в цифровой образовательной среде). Студенты должны быть сориентированы на анализ лучших традиций создания компьютерных симуляций физических экспериментов и на продуцирование новых проектных решений, в том числе базирующихся на применении современных средств их реализации в виртуальной среде. При необходимости преподаватель обращает внимание студентов на некоторые наиболее важные тенденции в развитии технологий создания компьютерных моделей физического эксперимента, в частности, на возросшее внимание разработчиков к учебным моделям, реализованным с применением 3D-графики, а также технологий дополненной (AV) и виртуальной реальности (VR). Интересны для анализа в связи с этим как отечественные, так и зарубежные разработки. В частности, для изучения студентам может быть предложен образовательный продукт «Образовательный комплекс по физике» компании «Увлекательная реальность». В этом комплексе представлены 3D-симуляции УФЭ по ключевым темам школьного курса физики 7–11-х классов. Это трехмерные анимации (более 70), в том числе в формате 3D-стерео, и около 30 интерактивных си-

муляторов лабораторных работ (рис. 31, 32) [100]. Получила известность «Виртуальная физика (ePhysics)» (Активная обучающая среда «Виртуальная школа» для среднего и высшего образования: Д. В. Баяндин, О. И. Мухин и др. Пермь: РЦИ ПГТУ) (рис. 33) [43]. Комплекс симуляций УФЭ, реализованных в этой среде, предназначен для выполнения компьютерных экспериментов.

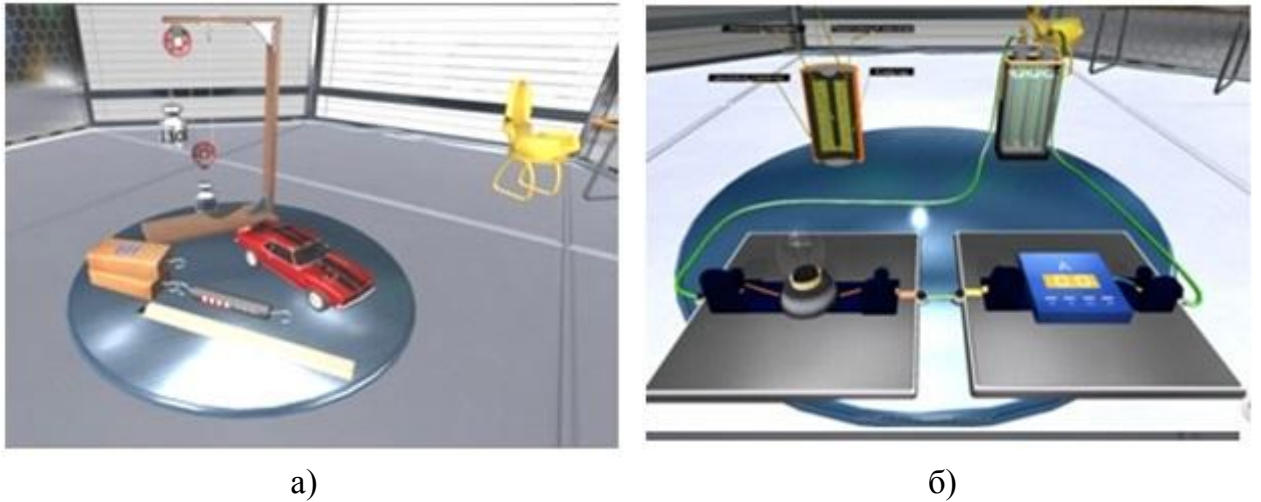


Рис. 31. Образовательный комплекс по физике «Увлекательная реальность»: а) учебная тема «Механика»; б) учебная тема «Электрические явления» [100]



Рис. 32. Принцип действия электромагнитного реле (функция AV). Образовательный комплекс по физике «Увлекательная реальность» [100]



Рис. 33. Модель «Законы сохранения в механике» («Интер@ктивная физика», Институт инновационных технологий, Пермь) [43]

Полезен для изучения как конструктор лабораторных экспериментов ресурс «Виртуальные лаборатории для общего, профессионального и дополнительного образования (физика, химия, технология)» (Российская компания Vizex) (рис. 34) [45].

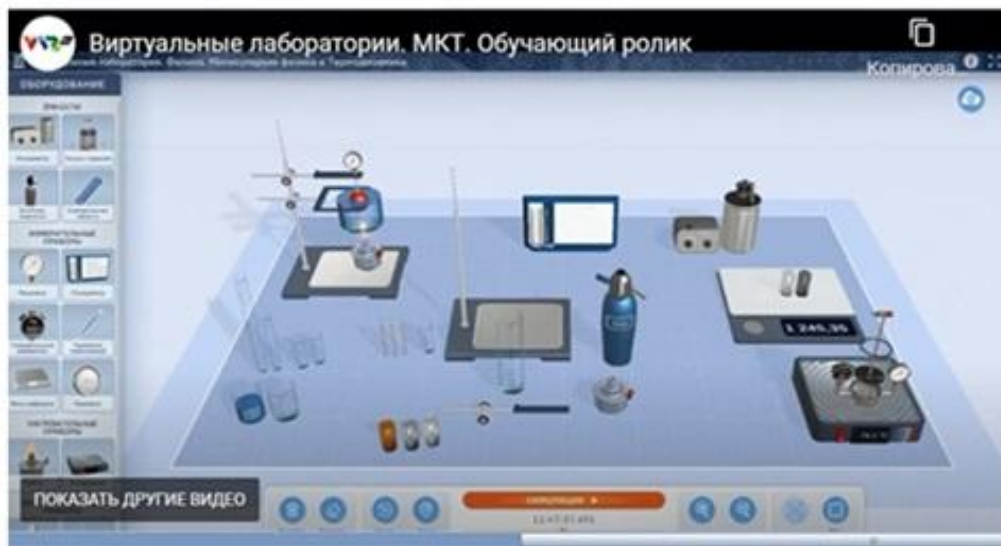


Рис. 34. «Виртуальные лаборатории для общего, профессионального и дополнительного образования (физика, химия, технология)» (Российская компания Vizex) [45]

Симуляции лабораторных работ по физике представлены в ресурсе «Физика. Лабораторные работы 7–9 классы» (Компания RSI).⁷⁰ Это цифровое

⁷⁰ «Интерактивные учебные пособия. Физика. Лабораторные работы 7-9 классы» (Компания RSI) – URL: <https://xn----otbxccv.xn--p1ai/catalog/oborudovanie-dlya-sredney-i-starshy-shkoly/kabinet-fiziki/> (дата обращения: 21.11.23).

сопровождение к федеральному комплексу учебников по физике для основной школы, включающее 2-D-симуляторы типовых лабораторных работ, краткую теорию, инструктивные материалы, справочные таблицы и экспериментальные задачи (рис. 35).

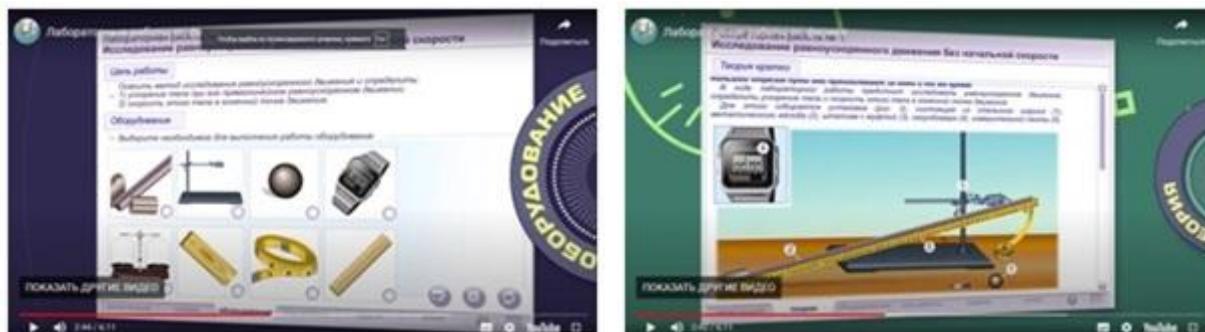


Рис. 35. 2D-симулятор «Исследование равноускоренного движения без начальной скорости». «Физика. Лабораторные работы 7–9 классы» (Компания RSI) [45]

Еще одним интересным ресурсом для анализа является ресурс «Physics 3D Virtual Experiments» компании LabInApp.⁷¹ Продукт создан в среде Unity в виде виртуальной 3D-лаборатории для проведения экспериментов по физике. Обучение естественным наукам с помощью трехмерной компьютерной графики представители этой компании относят к разряду революционных преобразований предметной ИОС. Подход к разработке продукта заключается в трех позициях: Laboratory at Your Fingertips («Лаборатория на кончиках ваших пальцев»), Learn By Doing («Учись, делая»), Anytime. Any where. Any Device («В любой момент. В любом месте. Любое устройство») (рис. 36).



Рис.36. Интерактивная 3D-симуляция «Математический маятник («Physics 3D Virtual Experiments», компания LabIn App)⁶³

⁷¹ LabInApp «Physics 3D Virtual Experiments»]. – URL: <http://labinapp.com/> (дата обращения: 17.11.2022).

Однако какими бы технологически «продвинутыми» ни были отдельные компьютерных симуляции нового поколения, следует внимательно отнестись к анализу особенностей КС прошлых лет производства. Нередко в них заложены весьма грамотные методические идеи организации эксперимента, способы графического представления экспериментальной установки, качественные дидактические материалы для сопровождения самостоятельной работы учащихся. Все полезное для обучения школьников и дидактически целесообразное в этих моделях не должно быть утрачено.

Методологическую основу выполнения концептуальных актов составляют *регулятивы 3–12*. По итогам выполнения концептуальных продуктивных актов студентами разрабатывается концепт авторской симуляции физического эксперимента: определяется основная идея его постановки (метод решения экспериментальной задачи), состав оборудования, этапы проведения и основные результаты (качественные, количественные); осознается место и роль данной симуляции УФЭ в усвоении учебного материала курса физики и методологической подготовке учащихся средней школы.

Процессуальная составляющая этапа состоит в выполнении заданий П2 и П3. (*регулятивы 11,13*). Перед студентами ставится задача создания фотореалистичных 3-D моделей физических приборов и компьютерной «сборки» из этих приборов трехмерной модели экспериментальной установки для проведения виртуального опыта. Эта модель составит впоследствии основу проектирования либо симулятора физического эксперимента (УКСЛЭ), либо более сложной модели, включающей и симулятор, и компьютерный эксперимент (УВЛЭ).

Создание виртуальной модели экспериментальной установки начинается с подбора ее прототипов и соответственно прототипов учебных приборов и материалов, которые входят в ее состав. Студентам необходимо изучить устройство и принцип действия каждого прибора, его технические характеристики, обратить внимание на общий дизайн, а также относительные геометрические размеры и текстуру отдельных образующих его элементов. Модель прибора не может быть предметом фантазии разработчика, ее визуализация должна соответствовать его реальному прототипу. Важно воспроизвести в модели существенные внешние характеристики приборов и материалов экспериментальной установки. Несущественные детали при моделировании

можно исключить или упростить. На рисунках 37 и 38 показаны примеры фотореалистичных моделей физических приборов, созданных студентами.



Рис. 37. 3D-модель гальванического элемента для демонстрации закона Ома для полной цепи (ванна с электролитом и электродами)

На моделях указаны значимые для эксперимента характеристики приборов. Например, для электроизмерительных лабораторных приборов важным является указание полярности подключения, предельно допустимой нагрузки, а также класса точности, который необходимо знать для расчета инструментальной погрешности измерения.

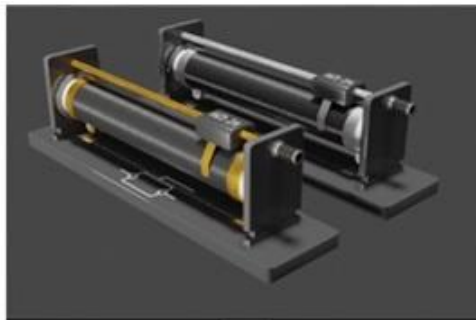


Рис. 38. 3D-модели лабораторных физических приборов

При выполнении задания студенты должны оценить, насколько важным для проведения эксперимента является понимание учащимися устройства и принципа действия отдельных приборов. В некоторых случаях внутреннее устройство прибора и/или демонстрация принципа его работы тоже являются объектом моделирования (рис. 39).

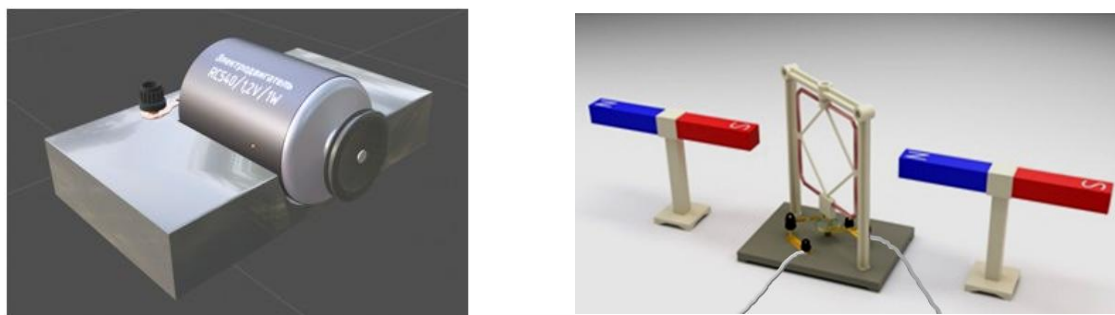
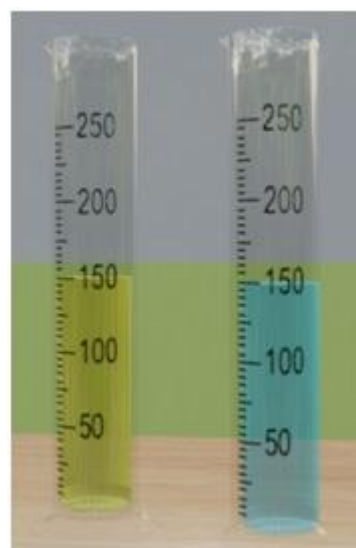


Рис.39. 3D-модель электродвигателя и модель для демонстрации принципа его действия к лабораторной работе «Определение КПД электродвигателя» (проект ст. Д. О. Сивкова, ПГГПУ, 2020)

Для сопровождения работы по созданию моделей физических приборов и материалов, используемых в учебном физическом эксперименте, полезно силами самих студентов сформировать коллекцию фотоснимков учебного оборудования. Это могут быть профессиональные фотоснимки, представленные в глобальной сети, а также снимки, выполненные студентами в лаборатории школьного физического эксперимента вуза. Целесообразным является создание и библиотеки 3-D моделей учебного оборудования с указанием технических характеристик приборов (рис. 40). Организация различных цифровых библиотек является важным фактором накопления корпоративного опыта в моделинге физического оборудования и становления корпоративной субъектности как целевой характеристики развития взаимоотношений в студенческой группе в условиях продуктивного обучения.



а)



б)

Рис. 40. Фрагмент коллекции 3-D моделей учебных физических приборов:
а) микродинамометр для измерения силы поверхностного натяжения жидкостей,
б) мерные цилиндры (начало)



в)

Рис.40. Фрагмент коллекции 3-D моделей учебных физических приборов:
в) динамометры демонстрационные (окончание)

По завершению моделирования оборудования к эксперименту принимается решение по визуализации модели экспериментальной установки: составу объектов в основной сборке и дополнительных объектов и принадлежностей. Обсуждается относительное расположение элементов установки на лабораторном столе, выбор цветовой гаммы и цветовых контрастов, уровня освещенности и т.п. Примеры сборки экспериментальной установки и размещения моделей приборов на демонстрационном и лабораторном столах показаны на рисунках 41 и 42. Решение этой задачи должно удовлетворять требованиям видимости, наглядности и отличаться эстетичностью визуализации.

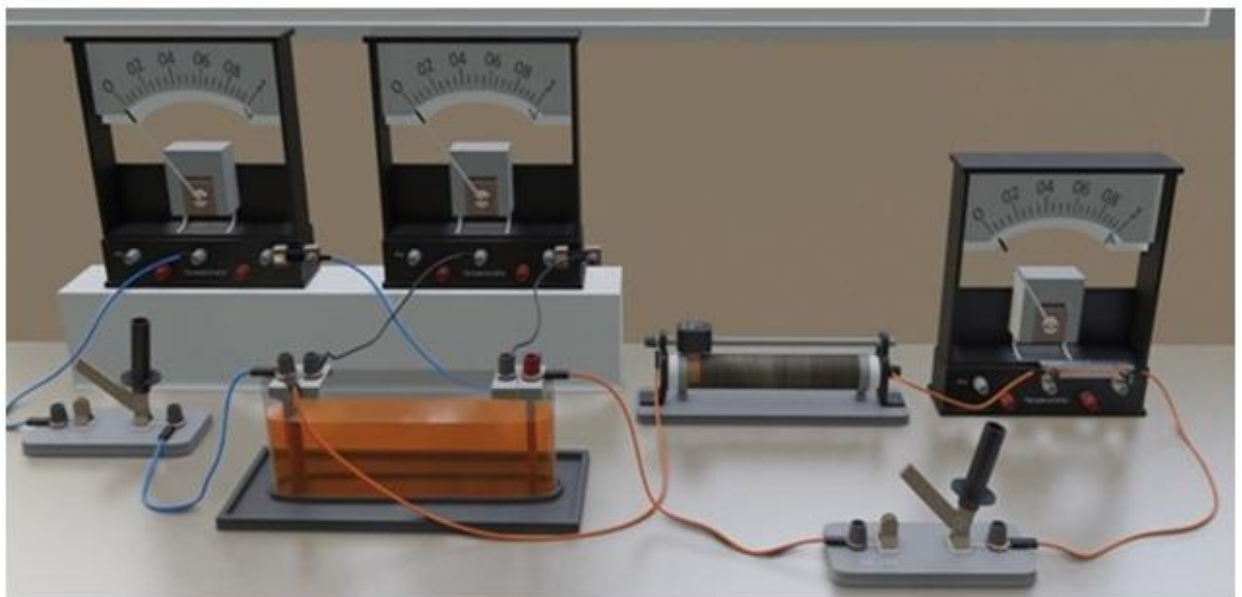


Рис. 41. 3D-модель установки для демонстрации закона Ома для полной цепи
(проект ст. Д. А. Рахматуллин, ПГГПУ, 2021)

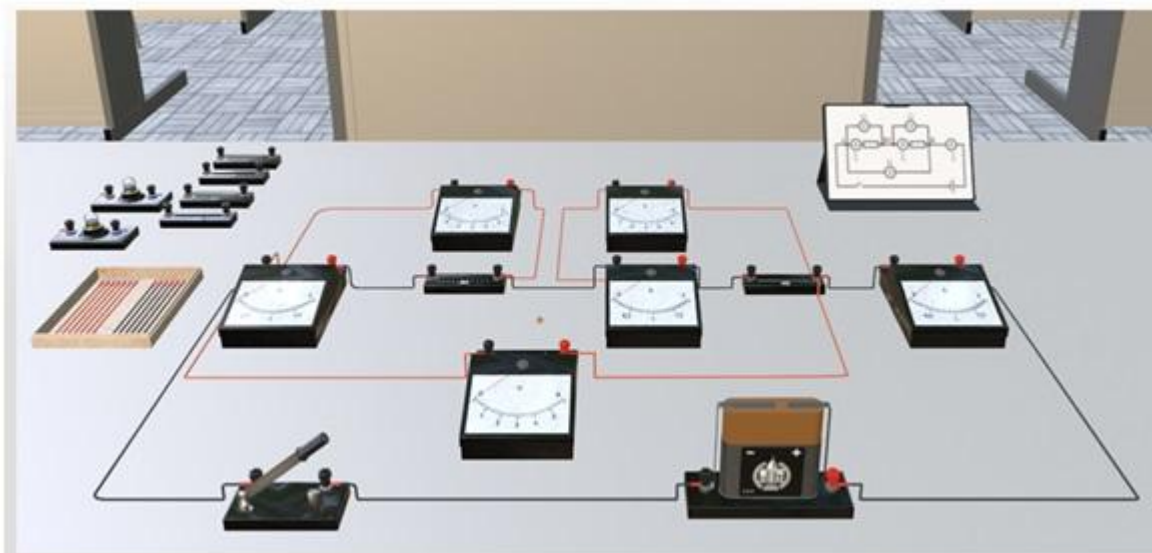


Рис. 42. 3D-модель установки для лабораторной работы «Законы последовательного соединения проводников» (проект ст. К. Г. Александровой, ПГГПУ, 2020)

На этом этапе уточняются интерактивные элементы приборов (например, стрелка амперметра, пружина динамометра, лепестки электроскопа и пр.). В ряде случаев интерактивным является объект в целом (например, брусок, движущийся по наклонной плоскости; динамометр, перемещаемый вдоль стойки штатива, и т.п.) (рис. 43).

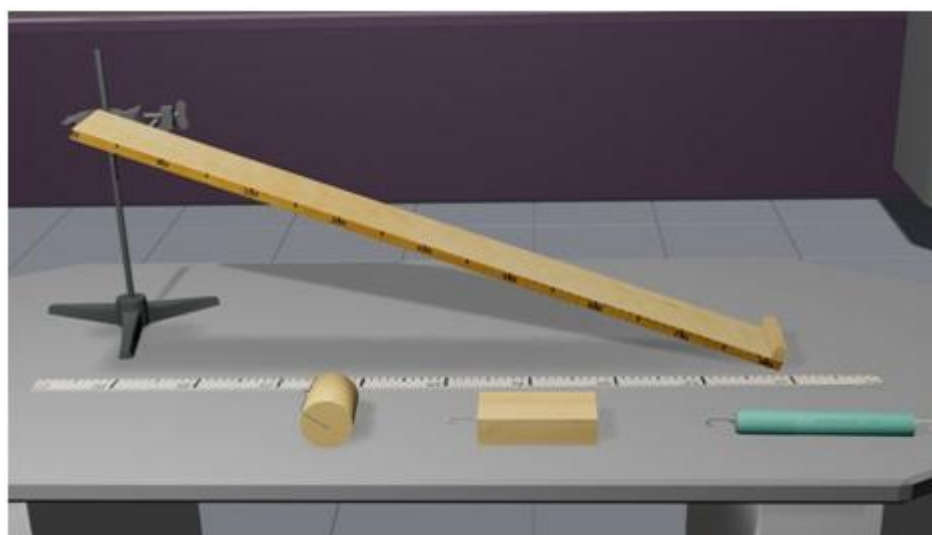


Рис.43. 3D-модель демонстрационной установки «Золотое правило механики. КПД наклонной плоскости» (проект ст. П. П. Сорокиной, ПГГПУ, 2020)

Интерактивные элементы экспериментальной установки определяют ее функционал. Их состав формируется в соответствии с содержанием тех операций, которые учащийся совершает с реальной экспериментальной установкой при выполнении лабораторного задания.

В рамках данного этапа может быть поставлена задача моделирование виртуальной учебной лаборатории, в которой учащиеся будут проводить эксперимент. При проектировании модели такой лаборатории «полет фантазии» разработчика вполне допустим. В качестве основы для решения этой задачи, как и в случае моделирования физических приборов, студентами академической группы может быть сформирована виртуальная библиотека фотоснимков, эскизов и 3D-моделей учебных лабораторий и их отдельных зон (*рабочее место учителя, рабочее место учащегося, демонстрационный стол, доска, портреты ученых, настенный дидактический материал* и т.п.). Формирование виртуального пространства в виде модели физической лаборатории создает эффект «погружения» обучающихся в виртуальную учебную среду, дидактическим выходом которого являются концентрация их внимания на учебной деятельности, ее активизация и положительная эмоциональная окрашенность (рис. 44, 45). Настенную экспозицию учебного кабинета, включая портреты ученых, рекомендуется формировать с учетом тематики выполняемого учебного проекта.



Рис.44. 3D-модель кабинета физики. Учебная тема: «Законы постоянного тока» (проект ст. В. А. Якушевой, ПГГПУ, 2022)



Рис.45. 3D-модель кабинета физики. Учебная тема: «Опыт Дж. Джоуля»
(проект ст. Т. А. Яковкиной, ПГГПУ, 2021)

Третий этап: проектирование пользовательского интерфейса модели физического эксперимента. Работа на этом этапе базируется на регулятивах 5–7, 9–13). Начало работы на этом этапе связано с уточнением конкретного вида разрабатываемой модели (построением ее фасетной формулы). Эта задача решается на основе анализа предложенных в настоящей работе обобщенных характеристик компьютерных моделей физического эксперимента (регулятив 12, с. 121). К ним относятся: 1) тип моделируемого эксперимента; 2) вид моделируемого эксперимента (демонстрационный, лабораторный; УКСЛЭ, УВЛЭ, УКВЭ); 3) состав реализуемых дидактических функций; 4) состав реализуемых методологических функций; 5) уровень интерактивности; 6) уровень реалистичности визуализации экспериментальной установки; 7) интерфейс модели, определяющий особенности взаимодействия пользователя с объектами учебной сцены; 8) состав изменяемых параметров модели; 9) тип обучающего сценария; 10) технологии управления и поддержки учебной деятельности; 11) уровень работы пользователя с моделью; 12) уровень сложности учебного материала и заданий, составляющих основу работы с моделью; 13) принцип формирования учебного контента модели; 14) способы и технологии графического представления: 2D, 3D (VR) и 3D (VR)-СТЕРЕО, 3D (AR); 15) языки и технологии программирования (открытые профессиональные инструментальные среды и приложения), веб-сервисы [8, с. 26].

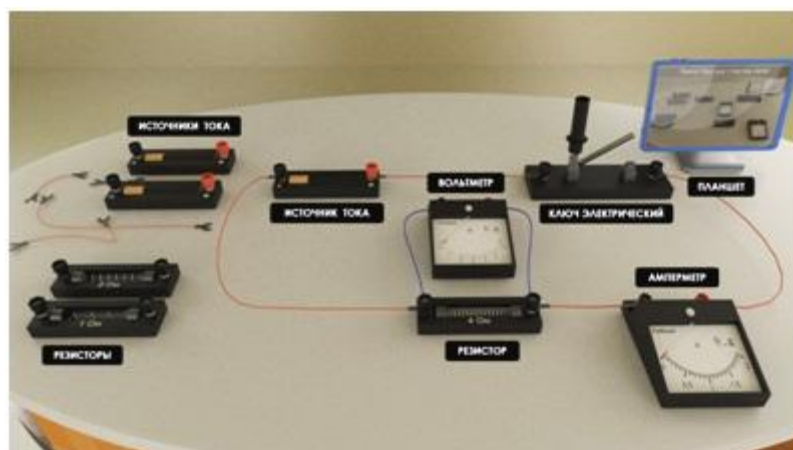
Фасетная формула модели включает указанные выше характеристики в их конкретизированной форме. Ее реализация в готовом продукте имеет своим результатом либо новую компьютерную симуляцию физического эксперимента (пока еще не имеющую аналогов), либо обновленную версию КС, отличающуюся конкурентными дидактическими преимуществами в сравнении с ее аналогами, представленными в цифровой образовательной среде. Содержание фасетной формулы определяется студентом соответственно его интересам и готовности к ее реализации в виде конкретной КС.

Концептуальная составляющая проекта на этом этапе связана с работой над заданием К11. Студенты выполняют анализ подходов к разработке пользовательских интерфейсов учебных КС, в том числе компьютерных симуляций физических экспериментов, тенденций в развитии интерфейсных решений, выдвигают аргументированные предложения относительно адаптации этих решений применительно к собственному проекту. На этом этапе фактически проектируется визуальный образ будущей интерактивной компьютерной симуляции УФЭ.

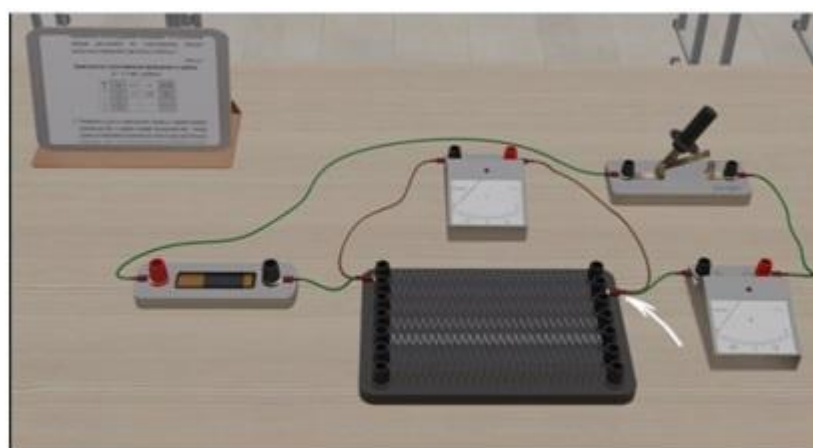
Процессуальная составляющая третьего этапа РЛ состоит в выполнении задания П4: разработка проекта учебной сцены и пользовательского интерфейса компьютерной симуляции физического эксперимента (вида УКСЛЭ или УВЛЭ) (с. 163). При организации работы студентов по проектированию интерфейса КС преподаватель ориентирует их на требования, позволяющие обеспечить его необходимое качество (*регулятив 13*, с. 122–124). Соблюдение этих требований (основных правил юзабилити пользовательского интерфейса) делает работу учащихся с компьютерной симуляцией простой и эмоционально комфортной. Для учебных КС принципиально важным является требование, связанное с когнитивной простотой интерфейса. Речь идет о малом *когнитивном расстоянии*, которое обеспечивается *ясной метафорой визуализации, диалоговой выразительностью и однородностью интерфейса* (степенью однообразия действий) [1, 2].

Рассмотрим примеры проектирования студентами пользовательского интерфейса *симуляторов УФЭ* (вида УКСЛЭ или УВЛЭ). Отличительными признаками симуляторов УФЭ с малым «когнитивным расстоянием» являются *фотореалистичный интерфейс*, обеспечивающий качественную визуализацию экспериментального оборудования и *квазиреалистичность действий*

учащихся с лабораторной установкой, а также с другими (вспомогательными) учебными объектами и принадлежностями учебной сцены (виртуальным планшетом, с дидактическими материалами планшета, калькулятором и пр.). Модель экспериментальной установки включает разнообразные всплывающие подсказки, направляющие действия пользователя и предоставляющих ему в случае затруднений дополнительную информацию. Это могут быть названия элементов установки (рис. 46, а) и указания о способах выполнения действий с этими элементами модели (рис. 46, б). В сложных случаях эти действия осуществляются через «клик» по элементу с последующим просмотром анимации его функционала (рис. 47, 48), в простых – с применением технологии drag&drop (рис. 49, 50, б–г). Может использоваться с этой целью вращение колеса мыши (рис. 50, а; 51; 52).



а) всплывающие подсказки с названиями приборов



б) всплывающая подсказка о необходимости увеличения длины проводника

Рис. 46. КС лабораторных работ: а) «Закон Ома для участка цепи» (проект ст. Д. М. Харина, ПГГПУ, 2020); б) «Определение сопротивления проводника. Удельное сопротивление» (проект ст. В. А. Якушевой, ПГГПУ, 2022)



Рис.47. КС лабораторной работы «Законы параллельного соединения проводников»: всплывающая подсказка по сборке электрической схемы (проект ст. И. А. Красноборов, ПГГПУ, 2020)

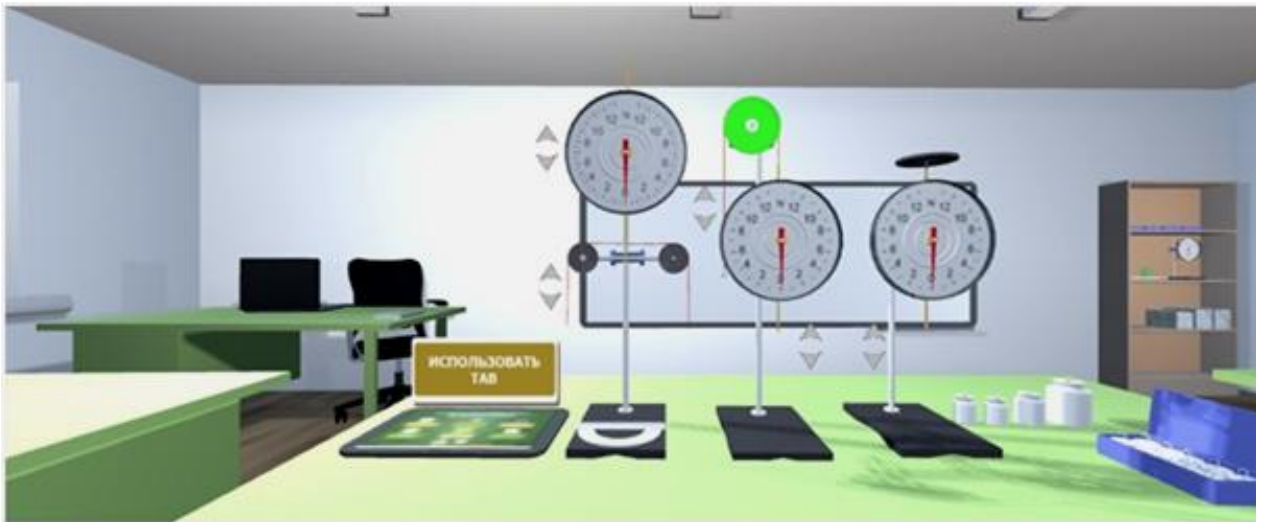


Рис. 48. КС демонстрационного эксперимента «Сложение сил»: всплывающая подсказка к включению планшета для работы с дидактическими материалами (проект ст. А.М. Сапрыкина, ПГГПУ, 2022)

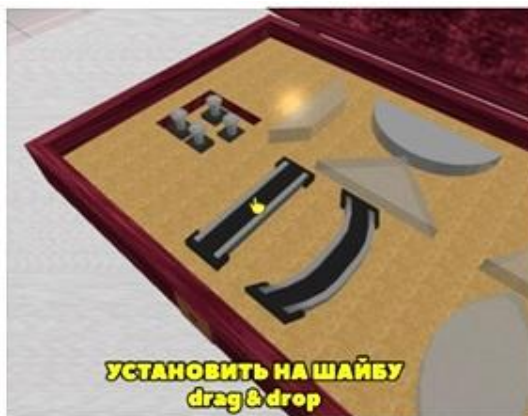


Рис. 49. Всплывающие подсказки для работы с оптической шайбой (проект ст. А. А. Трушова, ПГГПУ, 2019)

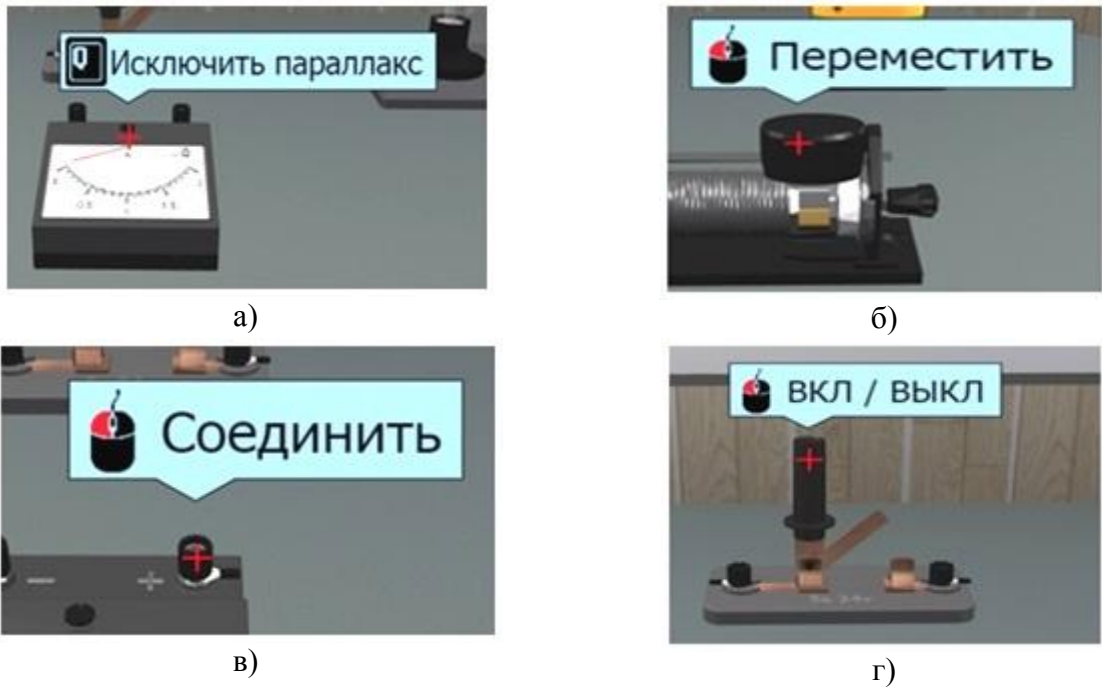


Рис. 50. Всплывающие подсказки: а) приближение к прибору для снятия показаний, б) перемещения ползунка реостата, в) подключение проводника г) поворот ключа (проект ст. А. М. Ярушина, ПГГПУ, 2019)

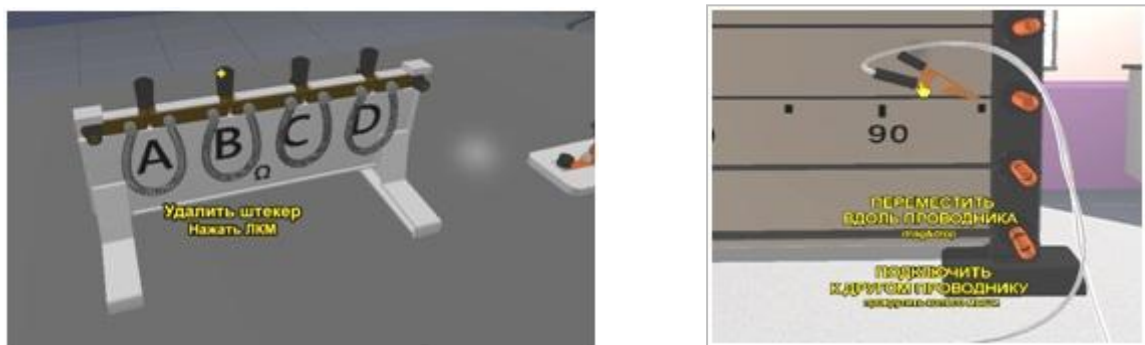


Рис. 51. Всплывающие подсказки к работе с приборами по теме «Электрические явления» (проекты ст. А. М. Ярушина, А. И. Завидюка, ПГГПУ, 2019)

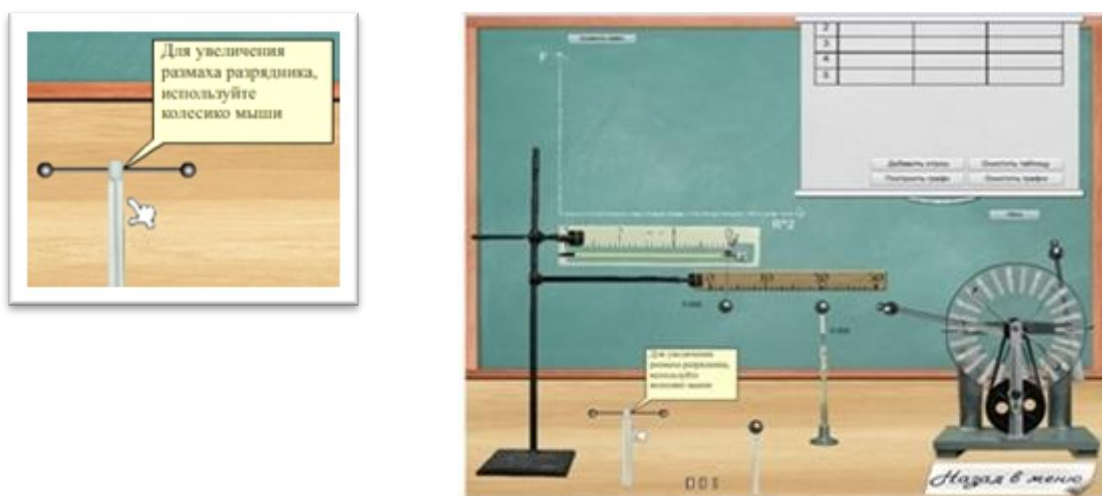


Рис. 52. КС демонстрационного эксперимента «Закон Кулона»: всплывающая подсказка к работе с разрядником (проект ст. А. А. Васильченко, ПГГПУ, 2019)

Действия с элементами модели весьма разнообразны, и в каждом отдельном случае требуется принятие наиболее рациональных и очевидных для пользователя решений. На рисунке 53 приведены подсказки к действиям по настройке весов при их подготовке к взвешиванию тел.

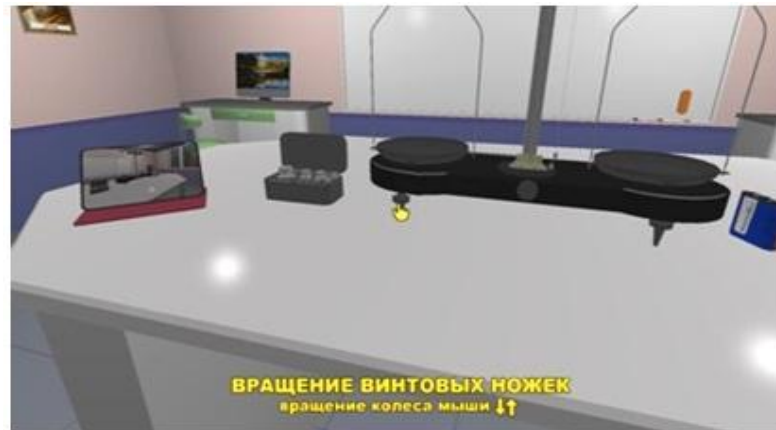


Рис. 53. КС лабораторного эксперимента «Взвешивание тел»: всплывающие подсказки к действиям по настройке весов (проект ст. А. О. Батурина, ПГГПУ, 2019)

На рисунке 54 показано проектное решение по реализации «направляемой» сборки электрической цепи. При затруднении в качестве помощи высвечиваются клеммы, которые учащемуся следует соединить.



Рис. 54. «Направляемая» сборка электрической цепи. КС лабораторного эксперимента «Работа и мощность электродвигателя» (проект ст. Д. О. Сивкова ПГГПУ, 2021)

Следует продумать способы выполнения нестандартных или неочевидных в виртуальной среде действий с объектами модели. На рисунке 55 показан способ работы с моделью при зарядке кондуктора посредством электризации через влияние. В случае зарядки тела таким способом необходимо



Рис. 55. Подсказки к действиям с КС демонстрационного эксперимента «Электризация тел» (проект ст. Н. А. Половникова, ПГГПУ, 2019)

использовать две руки: одной рукой удерживается наэлектризованная палочка, другой выполняется касание электрометра. Решение этой задачи потребовало одновременного использования и мыши, и клавиатуры ПК.

Важны подсказки возврата установки в исходное состояние для повторно проведения опыта с измененными параметрами. Способ выполнения этого действия не всегда очевиден пользователю и, тем более, не является стандартным. На рисунке 56 приведен пример такой подсказки касательно возврата бруска, прикрепленного к электродвигателю, в начальное положение.

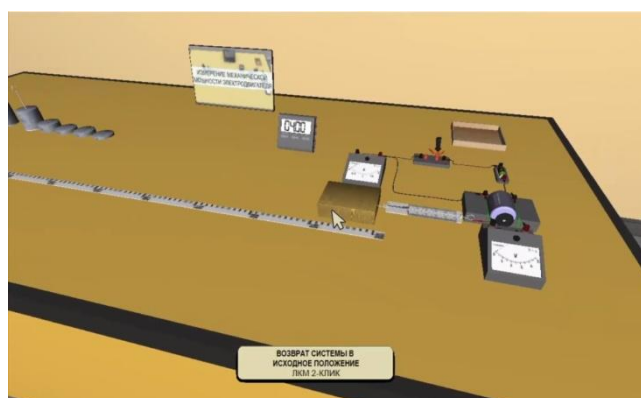


Рис. 56. КС лабораторного эксперимента «Работа и мощность электродвигателя»: подсказка к возвращению системы в исходное положение (проект ст. Д. О. Сивкова ПГГПУ, 2021)

В ряде случаев возникает необходимость в информации о совершенных пользователем ошибках или недопустимых действиях при работе с экспериментальной установкой, а также о возможной опасности обращения с некоторыми приборами и инструментами. Такая информация тоже может быть представлена системой всплывающих подсказок (рис. 57–60).



Рис. 57. КС лабораторной работы «Измерение сопротивления участка цепи»: сообщение об ошибке (проект ст. Г. В. Корытова, ПГГПУ, 2019)

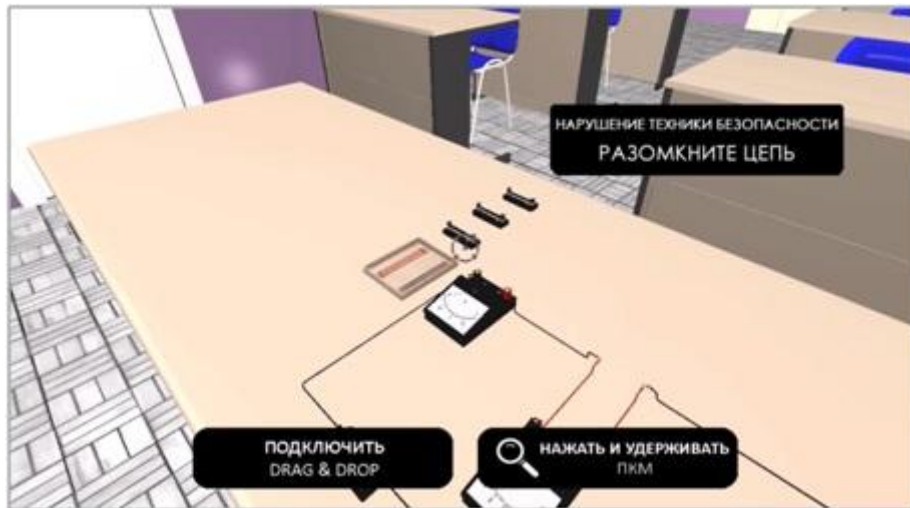


Рис. 58. КС лабораторной работы «Законы последовательного соединения»: *сообщение о недопустимых действиях* (проект ст. К. Г. Александра, ПГГПУ, 2021)

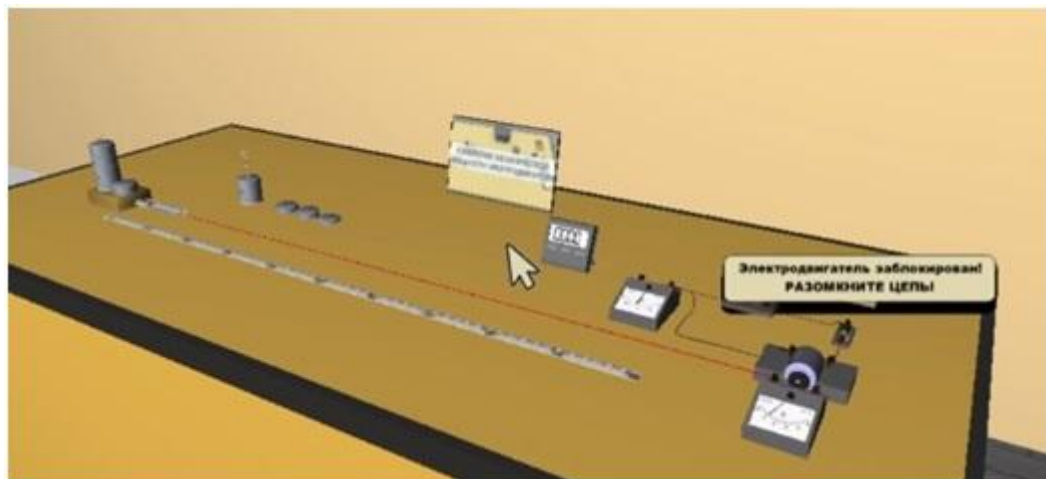


Рис. 59. КС лабораторного эксперимента «Работа и мощность электродвигателя»: *сообщение о недопустимых действиях* (проект ст. Д. О. Сивкова ПГГПУ, 2021)



Рис. 60. КС демонстрационного эксперимента «Сравнение удельной теплоемкости металлов»: *предупреждение* (проект ст. А. Е. Цой, ПГГПУ, 2020)

Важным этапом проведения эксперимента является снятие показаний с измерительных приборов. При использовании 3D-моделинга при неудачной позиции персонажа частой является ошибка, связанная с явлением параллакса. Для исключения этого эффекта используется опция «Снятие показаний», автоматически обеспечивающая правильное положение наблюдателя по отношению к шкале прибора (рис. 61, 62).

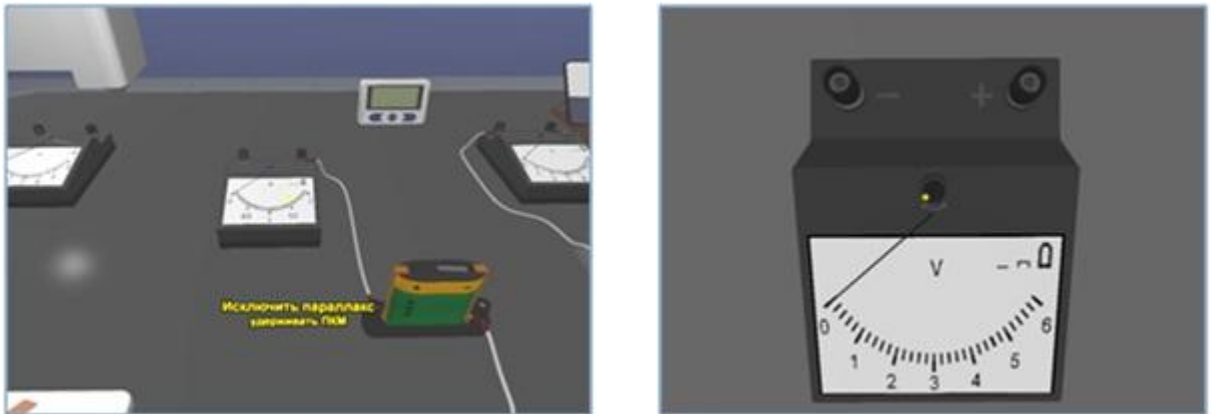


Рис. 61. КС лабораторной работы «Измерение работы и мощности электрического тока»: зум-эффект (проект ст. А. И. Завидюка, ПГГПУ, 2019)

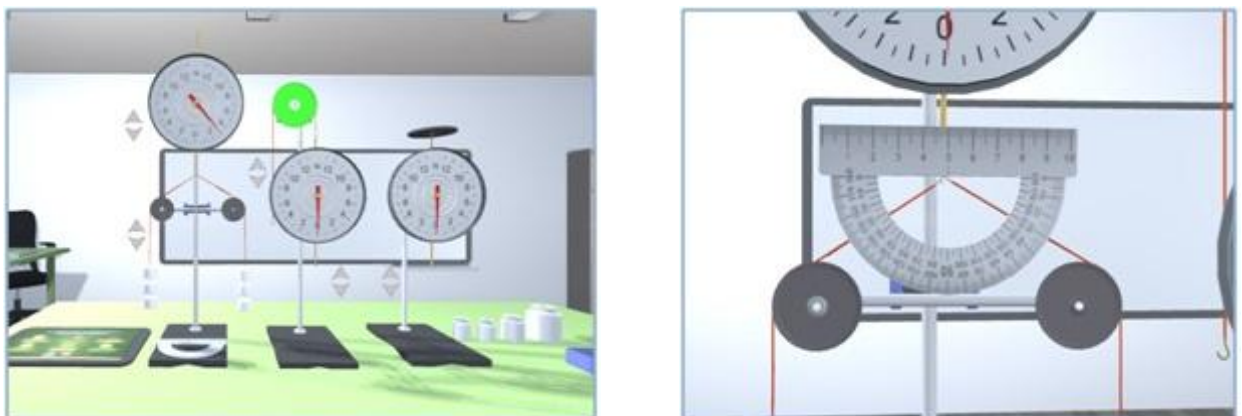


Рис. 62. КС демонстрационного эксперимента «Сложение сил, направленных под углом друг к другу»: зум-эффект (проект ст. А. М. Сапрыкина, ПГГПУ, 2022)

На данном этапе организации проектной работы преподаватель ориентирует студентов на создание компьютерных симуляций УФЭ с достаточно высоким уровнем интерактивности [104, с. 360–371]. Такие модели могут допускать как простые сценарные решения в форме работы по инструкции, так и самостоятельное планирование учащимися цели и хода эксперимента. Инициативные решения пользователя в работе с симуляцией обеспечиваются: возможностью самостоятельного выбора объектов исследования и усло-

вий его выполнения, разнообразием действий с объектами, наличием у них достаточного числа переменных параметров и др. Чем шире состав объектов, число и диапазоны изменения их параметров, а также спектр внешних воздействий на исследуемое явление, тем разнообразнее состав возможных целей физического эксперимента, выполняемого на симуляторе.

На третьем этапе работы студентами проектируется весь комплекс действий управления компьютерной моделью и при этом не только элементами экспериментальной установки. Может быть поставлена задача управления перемещением персонажа, выполняющего эксперимент (в случае 3D-моделинга). Наличие элементов управления персонажем обеспечивает учащемуся возможность совершить экскурсию по кабинету и познакомиться с содержанием настенной экспозиции, рассмотреть экспериментальную установку с разных ракурсов, приблизиться и изучить ее отдельные элементы. Решается задача лексического представления элементов управления и их оформления в рабочем поле КС (рис. 63).

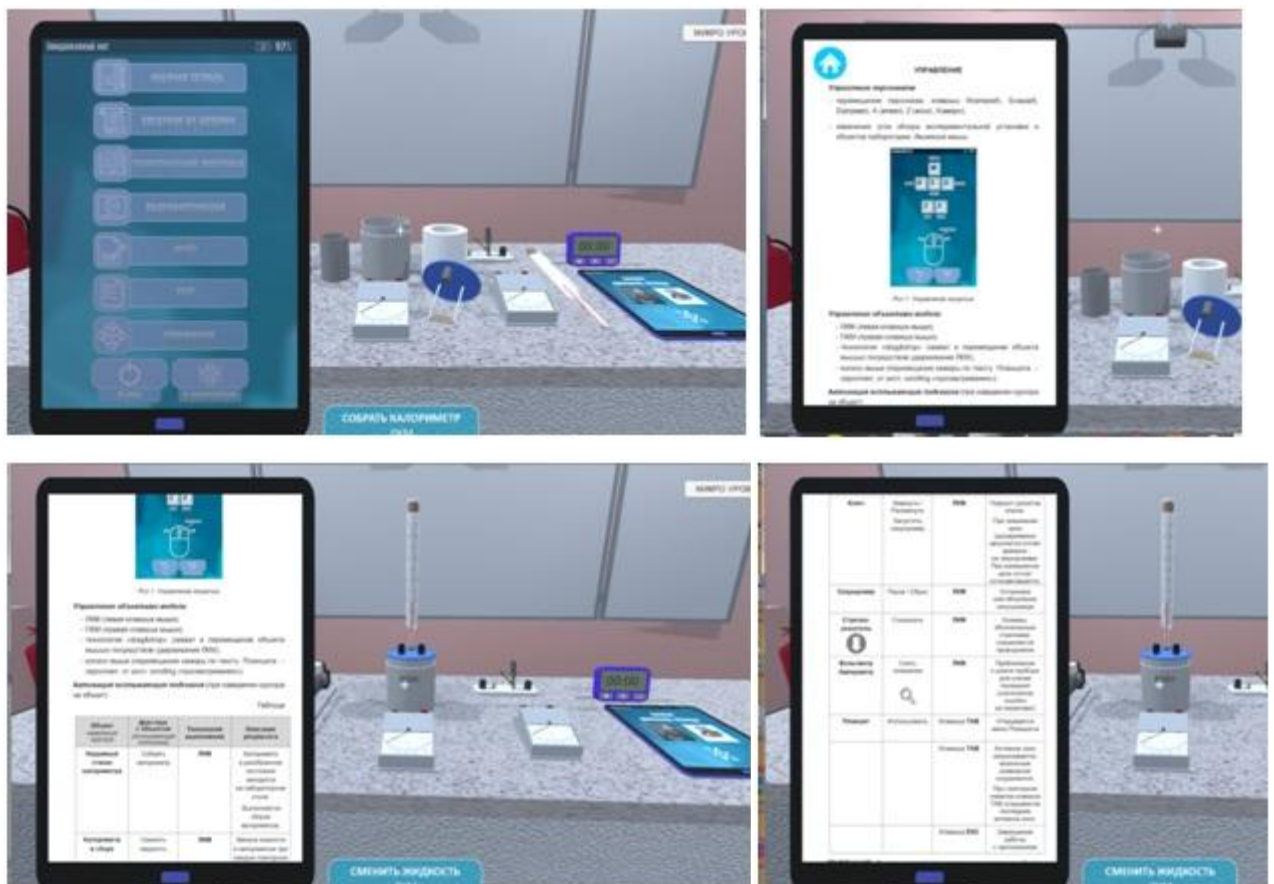


Рис. 63. КС лабораторного эксперимента «Закон Джоуля-Ленца»: обращение к блоку управления моделью (проект ст. Л. Ю. Худорожкова, ПГГПУ, 2022)

Разработка проекта интерфейса компьютерного симулятора УФЭ должна осуществляться строго с учетом особенностей эксперимента как метода эмпирического познания. Структура данного метода представлена в методической науке обобщенным планом (*регулятив 7*, с. 118). Соблюдение студентами общей логики экспериментального исследования, должно сопровождаться учетом обобщенной структуры выполнения отдельных экспериментальных действий [104, с. 642–653; 105, с. 59]. Подход к проектированию интерфейсов симуляторов, обеспечивающих управление ходом эксперимента в соответствии с его общей структурой как метода познания и сообразно особенностям конкретного способа его выполнения, будет иметь своим следствием освоение учащимися методологии экспериментального исследования и формирование у них как обобщенных, так и конкретных экспериментальных умений.

Грамотные интерфейсные решения, реалистичность визуализации экспериментальной установки дополненной квазиреалистичными манипуляциями с ее объектами и достаточный уровень интерактивности КС, обеспечивающие самостоятельное целеполагание и выполнение на симуляторе физического эксперимента, определяют в итоге бесконфликтный «перенос» экспериментальных действий, отработанных в виртуальной среде, в реальную среду школьной лаборатории. Данный подход к разработке интерактивных компьютерных симуляций УФЭ мы определили как проектирование КС с применением *технологии максимально реалистичного интерфейса*.

В настоящей работе сформулированы основные принципы проектирования интерактивных компьютерных симуляций физических экспериментов с применением данной технологии. Ниже приведен их перечень.

1. Реалистичная визуализация модели экспериментальной установки (исследуемого объекта (ов), технических устройств, приборов и инструментов).
2. Реалистичный моделинг функционала экспериментальной установки и исследуемого в опыте физического явления.
3. Визуализация «механизма» протекания явления, внутреннего устройства и принципа работы физических приборов экспериментальной установки (при необходимости).
4. Реализация моделей учебной деятельности. Проектирование и разработка компьютерной модели с учетом обобщенных планов соответствующих видов познавательной и практической деятельности (выполнения физического эксперимента, выполнения компьютерного эксперимента).
5. Квазиреалистичность манипуляций учащегося с элементами экспериментальной установки и исследуемыми физическими объектами.

6. Обеспечение соответствия уровня интерактивности модели ее дидактическому назначению в отношении формируемого у учащихся в работе с данной моделью уровня самостоятельности.

7. Наличие цифровых интерактивных дидактических материалов для сопровождения самостоятельной работы учащихся с моделью. Модульный подход к разработке их состава и содержания, обеспечивающий полный цикл обучения (предъявление учебной информации, ее отработка и организация контроля/самоконтроля результатов работы). Видовое разнообразие дидактических материалов и реализация принципа их избыточности как условие реализации в обучении дифференцированного и индивидуального подходов (Д. А. Антонова) [4, с. 68–72].

Для компьютерных симуляций УФЭ вида УВЛЭ при их использовании в *режиме выполнения компьютерного эксперимента* рекомендуется к разработке преимущественно традиционная форма его пользовательского интерфейса. Однако в большинстве случаев данная форма для проведения учебных компьютерных экспериментов приобретает, как правило, дидактическую интерпретацию. Традиционно это выражается в специальной группировке рабочих окон, клавиш, скроллеров, в представлении в рабочем окне наиболее важных формул и уравнений, поясняющих схем, иллюстраций и т.п. (рис. 28, с. 307). Могут быть организованы специальные окна с пояснениями и инструктивными указаниями (рис. 64). Другими словами, классический абстрактный интерфейс тоже включает, что целесообразно, необходимую дидактическую «атрибутику» (рис. 65).



Рис. 64. Компьютерный эксперимент «Зависимость давления от концентрации в реальном газе» (Д. В. Баяндин) [22, с. 51].

При проектировании интерфейса учебного компьютерного эксперимента студент должен учитывать общую логику его выполнения учащимся при работе с «готовой» моделью (*регулятив 5*, вариант 2, с.115–117), а также уровень сложности ее математической основы.

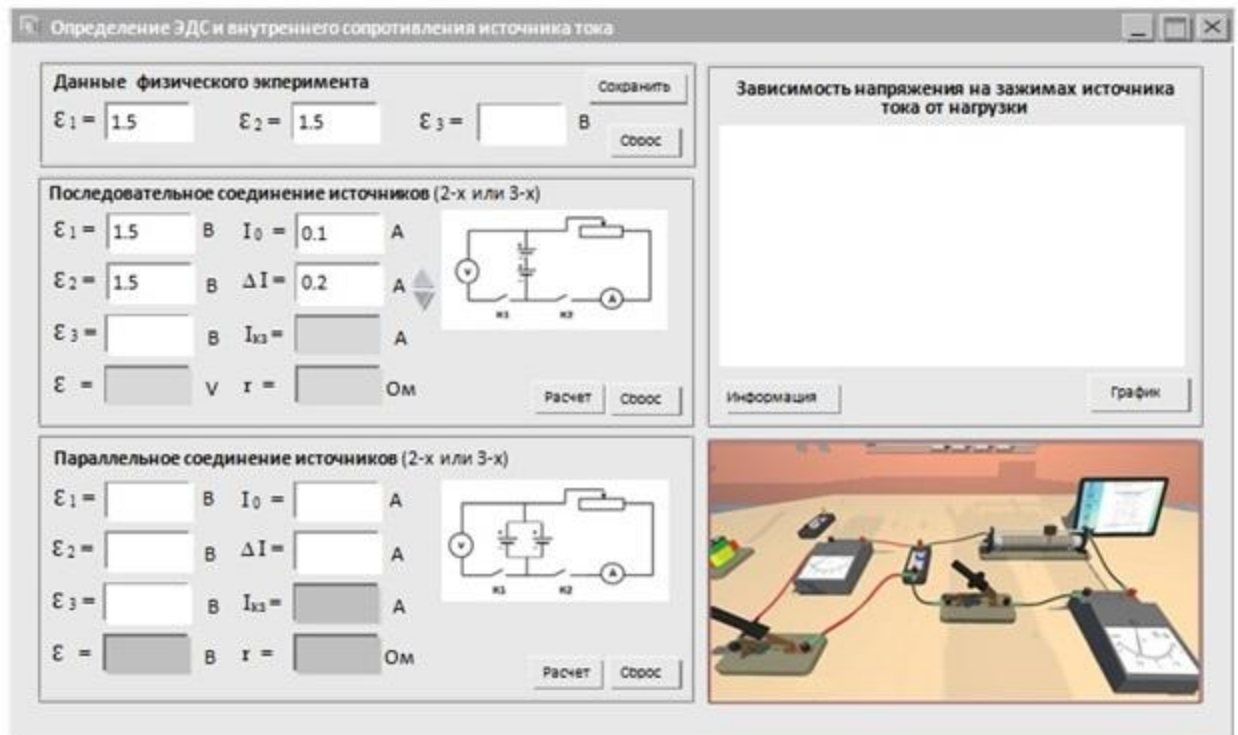


Рис. 65. Интерфейс учебного компьютерного эксперимента «Определение внутреннего сопротивления источника тока»: режим компьютерного эксперимента (проект ст. О. А. Божок, ПГГПУ, 2022)

Как отмечалось ранее, основу учебных компьютерных экспериментов может составлять сложная математическая модель (рис. 30), недоступная пониманию учащихся, или достаточно простая (рис. 31), базирующаяся на закономерностях, которые изучаются в курсе физики средней школы. Уровни сложности работы с такими «готовыми» КС обсуждаются в п. 1.3.2. (с. 67–68). В случае простой математической модели учащийся может на основе ее анализа самостоятельно спланировать ход компьютерного эксперимента и выполнить расчет интересующих его параметров поведения модели. Результаты УКВЭ могут использоваться при проектировании лабораторного физического эксперимента. При работе с КС, базирующихся на сложных математических моделях, компьютерный эксперимент планируется только на основе анализа их интерфейса. По результатам компьютерного эксперимента могут быть выдвинуты предположения о закономерностях протекания изучаемого явления. В отдельных частных случаях исследования поведения модели может быть спрогнозировано математическое выражение данной закономерности. Однако чаще такой прогноз носит качественный характер. Физический эксперимент при работе с такими КС является обязательным средством проверки выдвинутых предположений.

Продуманный в дидактическом отношении интерфейс КС вида УВЛЭ с учетом двух режимов использования (как симулятора *физического экспе-*

римента и модели для проведения компьютерного эксперимента) обеспечивает успешное освоение учащимися средней школы этих методов познания.

Четвертый этап. *Разработка дидактических материалов (регулятивы 1, 2, 7–12).*

Концептуальная составляющая этапа связана с выполнением заданий K12–13 и K17 (табл. 10, с. 161). Студентам предстоит анализ дидактических материалов (ДМ), используемых для сопровождения самостоятельной работы учащихся с компьютерными симуляциями и выявление тенденций в развитии подходов к формированию их содержания. Важной является оценка видового разнообразия ДМ, их роли в совершенствовании предметных знаний и умений школьников. Итогом этой работы должны стать предложения студентов по составу ДМ к авторской КС по теме проектируемого модуля, определение их назначения и основного содержания.

Примерный перечень дидактических материалов представлен в структуре цифрового модуля, включающего компьютерную симуляцию УФЭ. К ним относятся: 1) *комплект дидактических материалов к работе с моделью*: сведения из истории, теоретический материал, инструктивные материалы (интерактивная рабочая тетрадь с указаниями к работе; видеоинструкция; интерактивная инфографика, демонстрирующая порядок работы с симулятором УФЭ); 2) *комплект материалов для закрепления, углубления и самоконтроля знаний и умений*: интерактивное видео, дополнительные учебные задания, в том числе повышенной сложности, интерактивный тест, образец отчета о выполнении эксперимента; 3) *информационный блок «Управление моделью»*. В ходе работы над проектом данный комплекс материалов может пополняться их новыми видами. Реализация *принципа избыточности* в формировании комплекта ДМ полезна и для учащихся с точки зрения эффективности организации их индивидуальной работы с компьютерной симуляцией, и для студентов как основы построения индивидуального маршрута их продуктивной проектной деятельности. Главное, на что должно быть направлено содержание данных материалов, – это совершенствование знаний учащихся средней школы по физике и их подготовка в области методологии физического и компьютерного экспериментов.

Работа школьников с цифровыми дидактическими материалами носит самостоятельный характер. В связи с этим студентами рассматривается во-

прос об определении интерактивных функций ДМ. Уточнение и конкретизация этих функций осуществляется в процессе выполнения задания *K17*, которое связано с изучением цифровых инструментов разработки дидактических материалов. Прежде всего, студентами изучаются с этой целью возможности избранной среды разработки КС физического эксперимента, а также внешние приложения, включая веб-сервисы создания ДМ, которые могут быть подключены к «готовой» КС.

Процессуальная составляющая четвертого этапа связана с выполнением задания *П5*. (с. 163). Студентами разрабатывается содержание цифровых дидактических материалов к учебному модулю. Это серьезная и многоплановая работа, включающая подготовку учебных текстов и иллюстраций различных медиаформатов, определение их места в структуре учебной работы школьников с компьютерной симуляцией УФЭ, а также приемов использования. При этом является предпочтительной реализация *принципа модульного построения* системы дидактических материалов, обеспечивающего полный цикл обучения: предъявление информации, ее отработку на основе учебных заданий и контроль/самоконтроль результатов самостоятельной работы учащихся.

Цифровой формат представления ДМ может быть различным, например: статичные и интерактивные учебные тексты в рабочем поле модели (рис. 66, а) имитация интерактивной рабочей тетради с перелистыванием страниц (рис. 66, б, в), записи на доске (рис. 66, г), комбинация текстов рабочей тетради и записей на доске (рис. 66, д) и пр.



Рис. 66. Формы представления дидактических материалов в учебной сцене КС (проекты студентов) (начало)



в)



г)



д)

Рис. 66. Формы представления дидактических материалов в учебной сцене КС (проекты студентов) (окончание)

Оригинальным приемом «размещения» дидактических материалов рабочем поле учебной сцены является предложенный студентами «*виртуальный планшет*», в который может быть «загружен» полный комплект ДМ: исторические сведения, теоретический материал, инструктивные материалы различных видов, комплекты материалов для отработки и закрепления ЗУН, а также задания для самоконтроля. Идея создания «виртуального планшета» оказалась продуктивной. Работа с привычной системой навигации, реализованной в планшете, является весьма удобной. Модель «виртуального планшета» включается в состав учебной сцены и располагается на рабочем столе рядом с моделью экспериментальной установки (рис. 67, 68). Таким образом, информация, необходимая для работы с КС, всегда находится «под рукой».

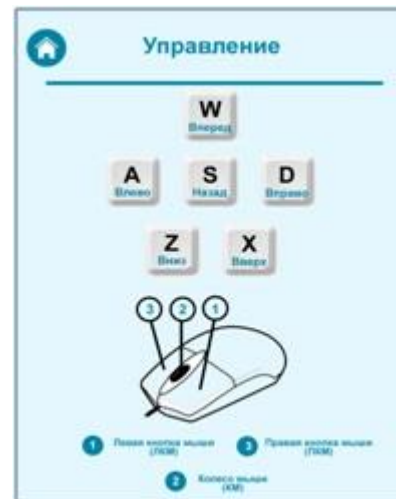
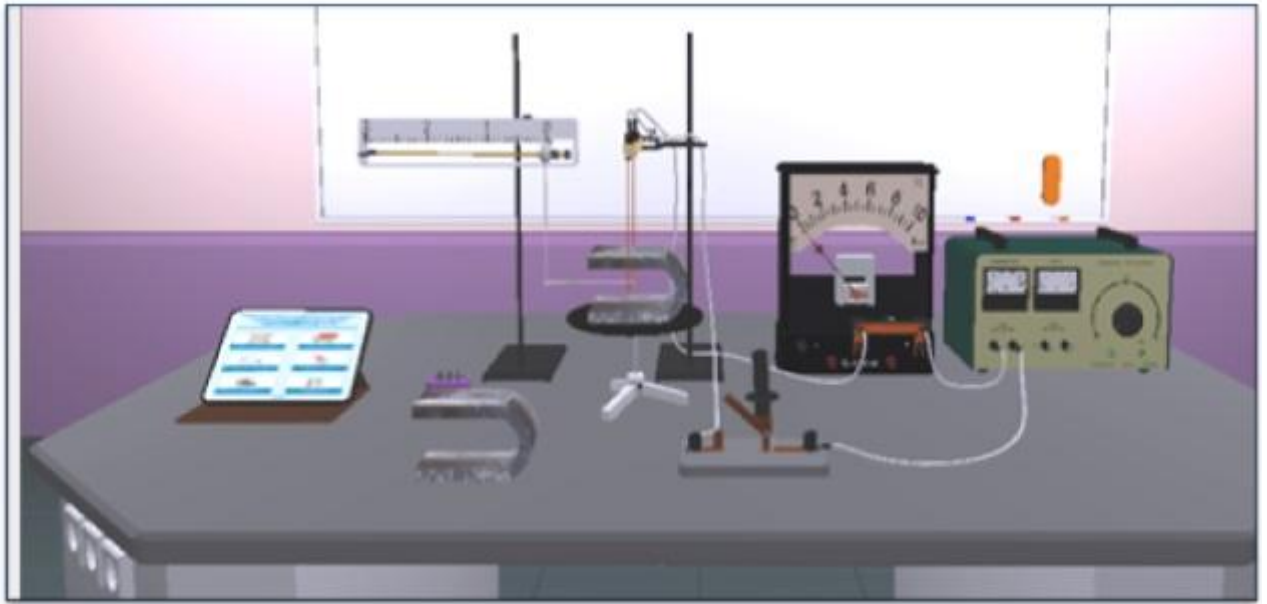


Рис. 67. КС демонстрационного физического эксперимента «Измерение модуля вектора магнитной индукции поля постоянного магнита». Работа с виртуальным планшетом (проект ст. Н. В. Рычагова, ПГГПУ, 2019)



Рис. 68. Работа с виртуальным планшетом. Симуляция УФЭ «Расчет сопротивления проводника. Удельное сопротивление» (проект ст. В. А. Якушевой, ПГГПУ, 2022)

Принципиально важным объектом разработки в системе дидактических материалов модуля является *виртуальная рабочая тетрадь с инструктивными указаниями*. Это инвариантный элемент ДМ. Именно в процессе работы над его созданием студентами глубоко осознается содержание учебного материала, способ постановки конкретного физического и/или компьютерного экспериментов, общая логика экспериментального исследования, а также методика формирования у учащихся обобщенных подходов к выполнению экспериментов каждого вида (физического, компьютерного). Кроме описания хода эксперимента в рабочей тетради представлены поля ввода его результатов (рис. 69). Осуществляется ввод значений измеренных физических величин, проводится оценка точности измерений, заполняются таблицы (качественных признаков, функций, статистические), строятся при необходимости графики функциональных зависимостей. По результатам анализа полученных в виртуальном эксперименте данных формулируются выводы. Тексты выводов вносятся в соответствующие поля интерактивной рабочей тетради.

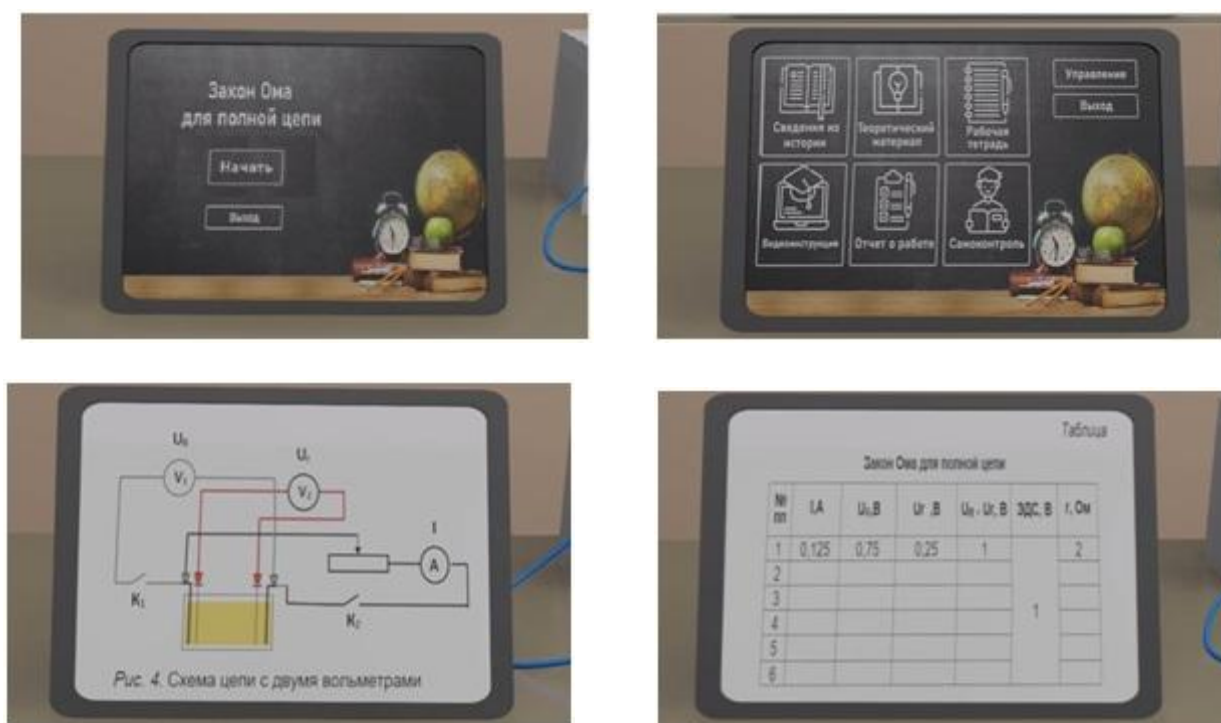


Рис. 69. Виртуальный планшет к КС физического эксперимента «Закон Ома для полной цепи» (проект ст. Д. А. Рахматулина, ПГГПУ, 2021)

Функционал рабочей тетради может включать опцию проверки правильности введения пользователем численных значений физических величин (верный результат обозначается *зеленой заливкой*). По окончании работы с тетрадью автоматически формируется письменный отчет учащегося о выполне-

нии экспериментального задания. Обучающийся может сравнить этот отчет с образцом, выявить имеющиеся недостатки в своей работе и при необходимости их исправить (рис. 70).

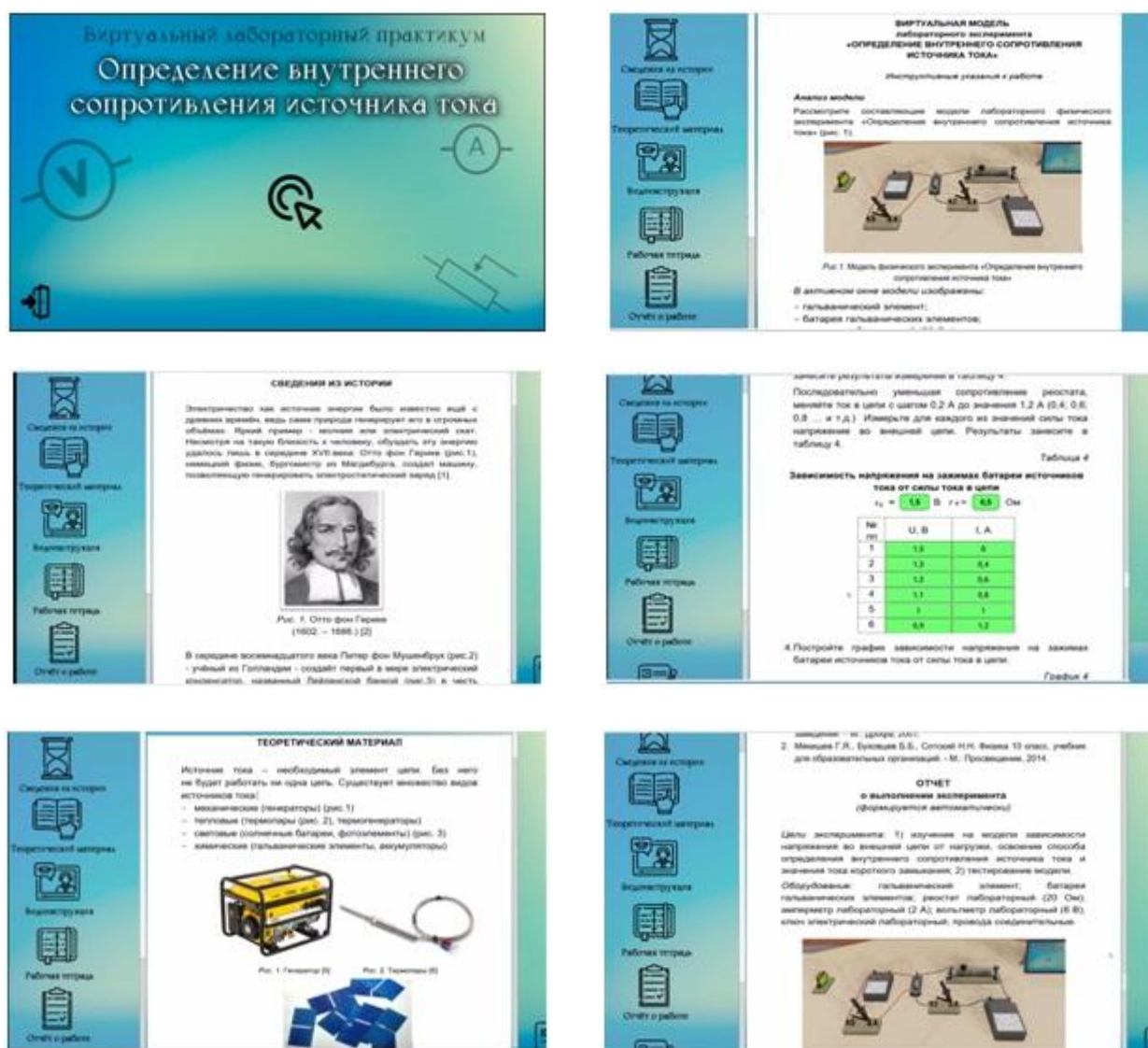


Рис. 70. Дидактические материалы к симуляции УФЭ «Определение внутреннего сопротивления источника тока» (проект ст. О. А. Божок, ПГПУ, 2022)

Полезным элементом комплекта ДМ является *видеоинструкция*. Данный элемент может использоваться как средство преодоления затруднений учащихся в работе с моделью (содержательных, технологических), а также применяться для повторения и закрепления учебного материала. Студентами разрабатывается сценарий видео и сопровождающий его текст, выполняется съемка с экрана ключевых этапов эксперимента и осуществляется запись звукового сопровождения. Одним из этапов видео является экскурсия по кабинету с обращением к его настенной экспозиции, включая портретную га-

лерею ученых-физиков и краткий рассказ по истории исследований изучаемого явления (рис. 71–73).



Рис. 71. Фрагмент видеозаписи к симуляции УФЭ «Определение внутреннего сопротивления источника» (проект ст. О. А. Божок, ПГГПУ, 2022)



Рис. 72. Фрагмент видеоинструкции к симуляции УФЭ «Закон Архимеда» (проект ст. А. Д. Терехиной, ПГГПУ, 2022)

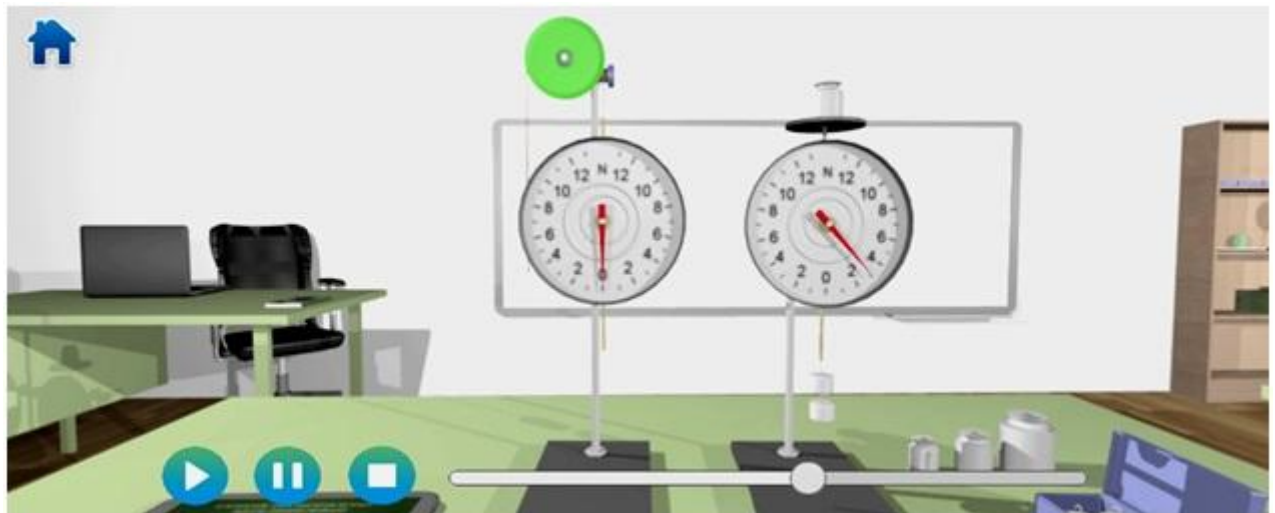


Рис. 73. Фрагмент видеоинструкции к симуляции УФЭ «Сложение сил, направленных вдоль одной прямой» (проект ст. А. М. Сапрыкина, ПГГПУ, 2022)

С аналогичной целью может использоваться *интерактивная инфографика*. К отличительным особенностям этого вида ДМ относятся структурированность, акцентированная визуализация и лаконичность представления информации о ходе эксперимента за счет укрупнения его дидактических единиц. Это фактически технологически обновленный формат представления опорного конспекта. На рисунках 74 и 75 приведены примеры оформления студентами таких опорных конспектов с применением инфографики. Важно отметить, что в составе этого интерактивного конспекта представлены короткие видеофрагменты, иллюстрирующие отдельные этапы эксперимента

ВИРТУАЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Закон Джоуля-Ленца

Этапы выполнения

Шаг 1. Знакомство с установкой



Шаг 2. Планирование работы

Изучение на модели способа экспериментальной проверки закона Джоуля-Ленца



Джеймс Джоуль
1818 - 1889



Эмиль Ленц
1804 - 1865

Закон Джоуля-Ленца

Количество теплоты, выделенное проводником с током, равно произведению силы тока, напряжения на проводнике и времени прохождения тока по проводнику

$Q = I U \Delta t$

Способ проверки

Оценить количество теплоты, выделенное проводником с током, можно по нагреванию жидкости в калориметре

Тепло, выделенное проводником

$Q = I U \Delta t$



Жидкость



Вытесняемый стакан

$Q1 = C_m m_{ж} (t2 - t1)$ $Q2 = C_k m_k (t2 - t1)$

Необходимо убедиться в равенстве

$Q = Q1 = Q2$

Шаг 3. Проведение эксперимента

Выполните сборку калориметра



Используется вода или машинное масло
 $m_{ж} = 200 \text{ г}$

Соберите электрическую цепь по схеме



Введите реостат полностью
 $R = 6 \text{ Ом}$

Зафиксируйте начальную температуру жидкости
 $t1 = 7$



Закройте цепь
Одновременно выключите секундомер



Измерьте силу тока и напряжение
 $I = 7$ $U = 7$




Жидкость нагревается!

При $t2 = 30^\circ \text{ C}$, выключите секундомер и разомкните цепь. Измерьте время нагревания
 $\Delta t = 7$



Результаты измерений внесите в таблицы

Расчет количества теплоты, выделенного при прохождении тока в электрической цепи

№	$I, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$\Delta t, \text{ с}$	$Q, \text{ Дж}$
1				
2				
3				

Расчет количества теплоты, выделенного током

№	$C, \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$	$m, \text{ кг}$	$t1, \text{ }^\circ\text{C}$	$t2, \text{ }^\circ\text{C}$	$Q, \text{ Дж}$
1					
2					
3					

Рассчитайте: $Q = ?$ $Q1 = ?$ $Q2 = ?$

Порядок расчета

$I = 7$

$U = 7$

$\Delta t = 7$

\downarrow

$Q = I U \Delta t$

$t1 = 7$

$t2 = 30$

$m_{ж} = 200$

\downarrow

$Q1 = C_m m_{ж} (t2 - t1)$

$t1 = 7$

$t2 = 30$

$m_k = 200$

\downarrow

$Q2 = C_k m_k (t2 - t1)$

$Q \rightleftharpoons Q1 = Q2$

Сравнить!

Измените условия эксперимента

Повторите опыт:

- с другой жидкостью
- для иной конечной температуры жидкости
- при других значениях напряжения и силы тока

Убедитесь в справедливости равенства
 $Q = Q1 = Q2$

Шаг 4. Анализ результатов эксперимента. Формулировка выводов

Проведите анализ результатов эксперимента
Сформулируйте вывод
Оформите отчет

Полученный результат

Можно сделать вывод, что количество теплоты, выделенное при прохождении тока в электрической цепи равно количеству теплоты, выделенного током

Полученный результат

Можно сделать вывод, что количество теплоты, выделенное при прохождении тока в электрической цепи равно количеству теплоты, выделенного током

Полученный результат

Можно сделать вывод, что количество теплоты, выделенное при прохождении тока в электрической цепи равно количеству теплоты, выделенного током

Используйте в работе учебные материалы



Рис.75. Инфографика к симуляции УФЭ «Закон Джоуля-Ленца» (проект ст. Л. Ю. Худорожкова, ПГПУ, 2022)

Одним из назначений компьютерных симуляторов физического эксперимента является расширение практики работы учащихся, связанной с освоением методологии экспериментального исследования. При наличии достаточного числа объектов исследования, количества переменных параметров данных объектов, средств воздействия на их состояние и при соответствующем уровне интерактивности компьютерной симуляции УФЭ состав целей работы с моделью может быть достаточно разнообразным. Для учащихся это обеспечивает возможность самостоятельного целеполагания и планирования хода эксперимента. Важно ориентировать наиболее способных студентов на создание таких симуляций УФЭ. На их основе могут быть разработаны для учащихся дополнительные экспериментальные задания разного уровня сложности. В качестве примера на рисунке 76 приведена модель симулятора лабораторной работы по определению внутреннего сопротивления источника тока. На основе данной КС (вида УВЛЭ) могут быть выполнены следующие экспериментальные задания: а) исследована зависимость напряжения во внешней цепи от нагрузки, б) определено значение ЭДС источников тока, в) найдено его внутреннее сопротивление и значения тока короткого замыкания, г) определены ЭДС и внутреннее сопротивление разных источников, в том числе батареи элементов, соединенных последовательно и параллельно.

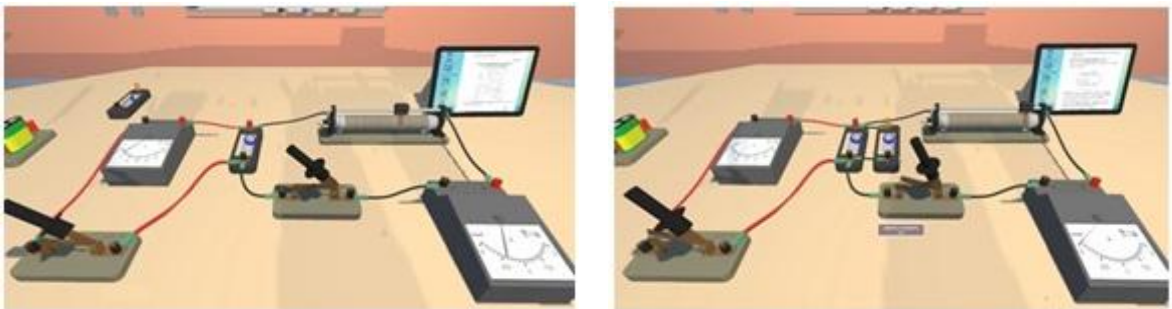


Рис. 76. КС лабораторной работы «Определение внутреннего сопротивления источника тока»: режим симулятора (проект ст. О. А. Божок, ПГГПУ, 2022)

На рисунке 77 представлен симулятор УФЭ «Измерение работы и мощности тока в электрической лампе» (вида УВЛЭ). Симулятор может быть использован для проведения нескольких экспериментов, связанных с измерением работы и мощности тока в отдельных маловольтовых лампах и лампах при их различных соединениях (последовательном, параллельном). Возможны определение сопротивлений нитей накала ламп в номинальном режиме их работы и оценка погрешностей прямых и косвенных измерений.

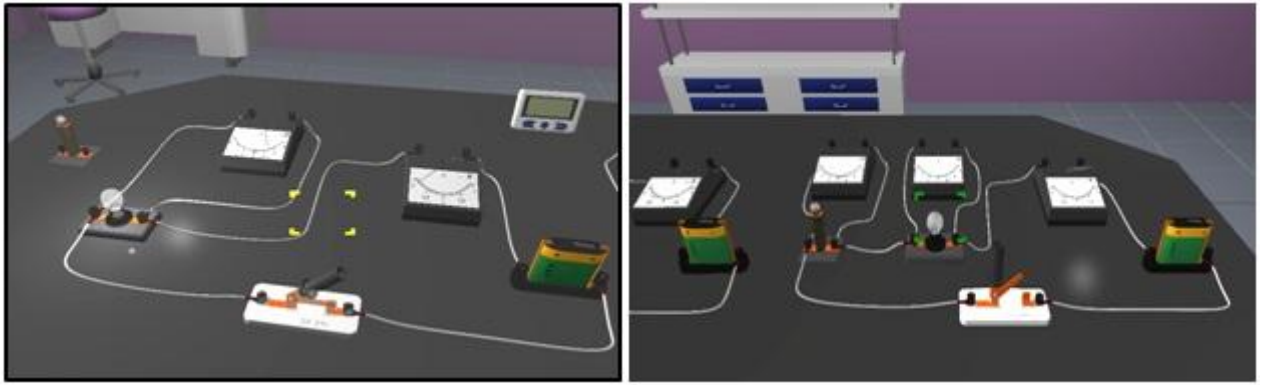


Рис. 77. КС демонстрационного эксперимента «Измерение работы и мощности электрического тока»: *режим симулятора* (проект ст. А. И. Завидюка, ПГГПУ, 2019)

Представляет интерес с точки зрения разнообразия решаемых экспериментальных задач симулятор УФЭ «Определение КПД при подъеме тела на наклонной плоскости» (рис. 78).

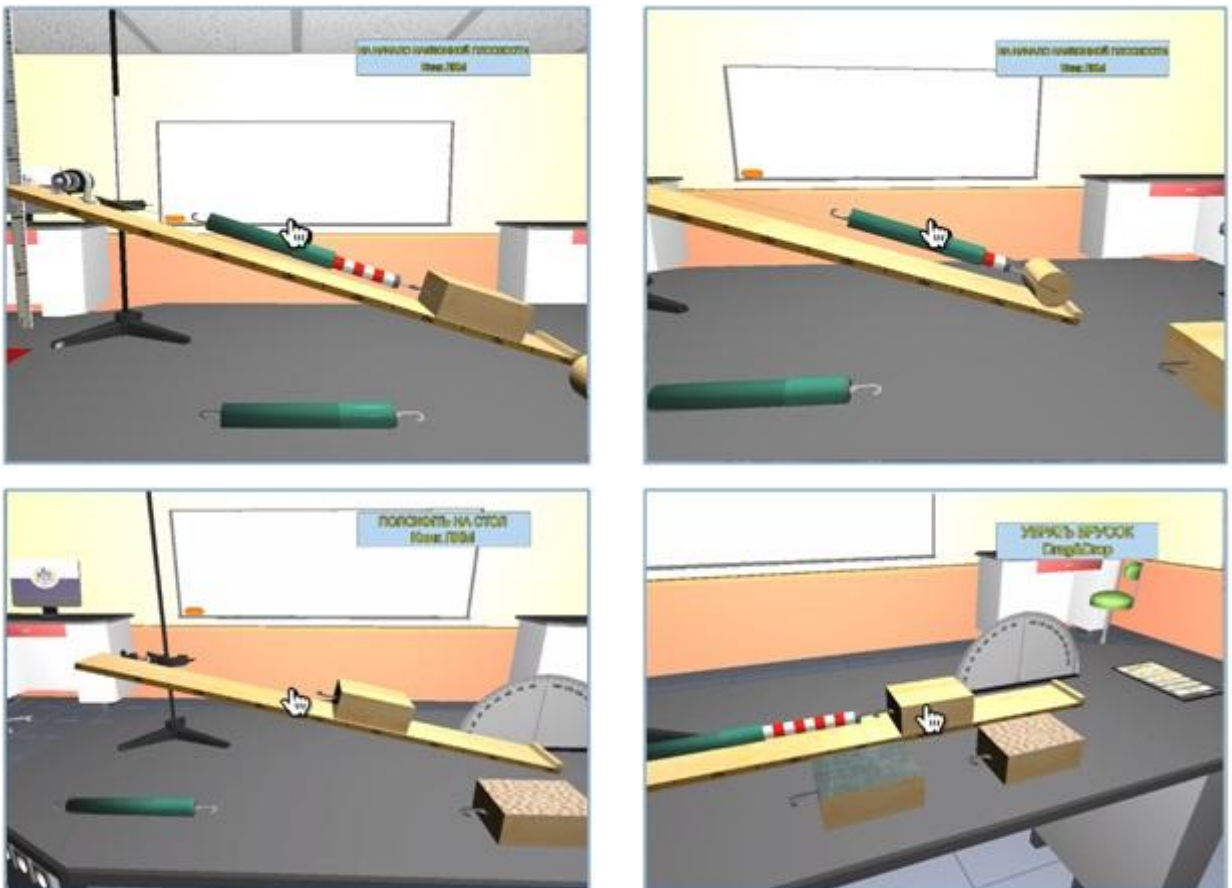


Рис. 78. КС демонстрационного эксперимента «Определение КПД при подъеме тела на наклонной плоскости»: *режим симулятора* (проект ст. П. П. Сорокиной, ПГГПУ, 2020)

Этот симулятор УФЭ может быть использован для решения следующих экспериментальных задач: 1) определение выигрыша в силе, который дает

наклонная плоскость (проверка «золотого правила механики»); 2) определение КПД наклонной плоскости при наличии силы трения; 3) исследование зависимости КПД наклонной плоскости от угла наклона и силы трения; 4) определение максимальной силы трения покоя и коэффициента трения покоя для различных поверхностей.

В систему дидактических материалов могут быть включены экспериментальные задания, выполняющие функцию тренажера. Это задания для отработки у учащихся техники измерений физических величин (прямых, косвенных), оценки погрешностей измерения: систематических (отсчета, инструментальных, метода) и случайных. Для составления таких заданий используются модели большинства лабораторных экспериментов. Модели, связанные с изучением электрических цепей, являются кроме этого «тренировочным полем» для отработки умения сборки электрических схем.

Представляют интерес в этом контексте и модели демонстрационных опытов, к которым учащиеся, как правило, не имеют возможности обратиться повторно. Такие модели служат средством закрепления знаний и умений. На их основе учащимся могут быть предложены задания на обоснованное предсказание или объяснение экспериментальных фактов (рис. 79, 80).

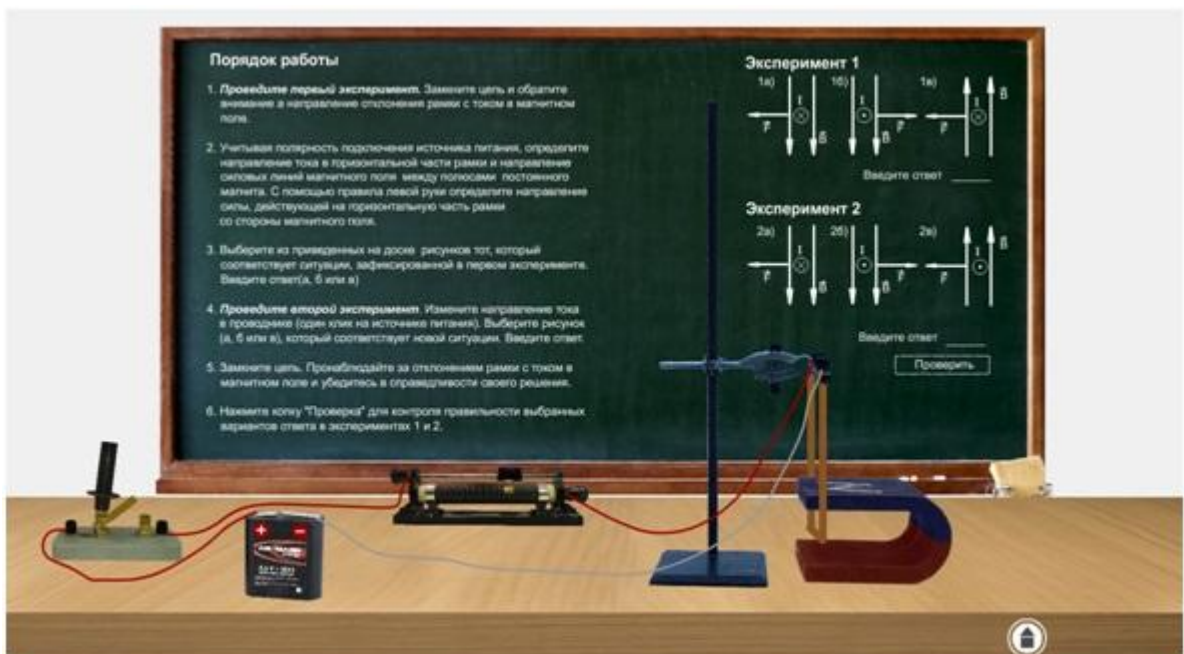


Рис. 79. КС физического эксперимента «Проводник с током в магнитном поле. Взаимодействие параллельных токов»: тренажер (проект ст. А. А. Лобанова, ПГГПУ, 2019)

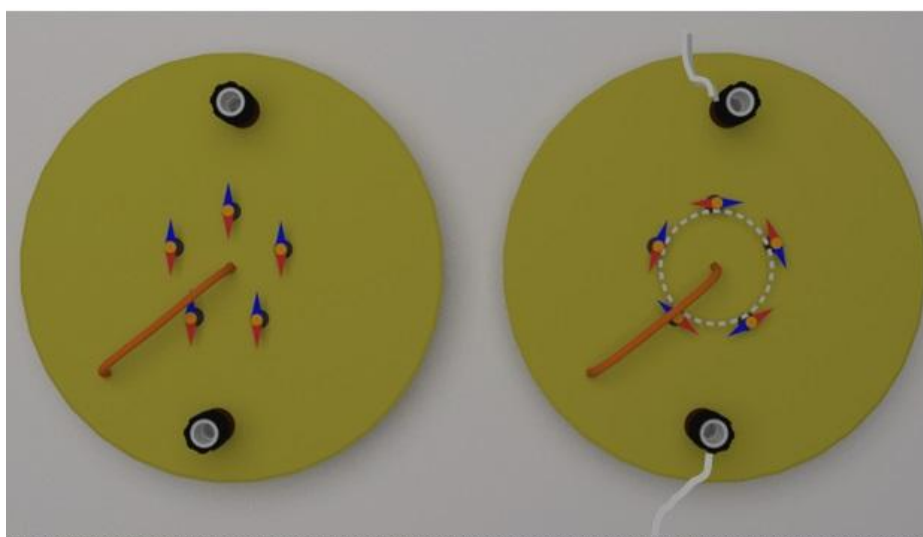
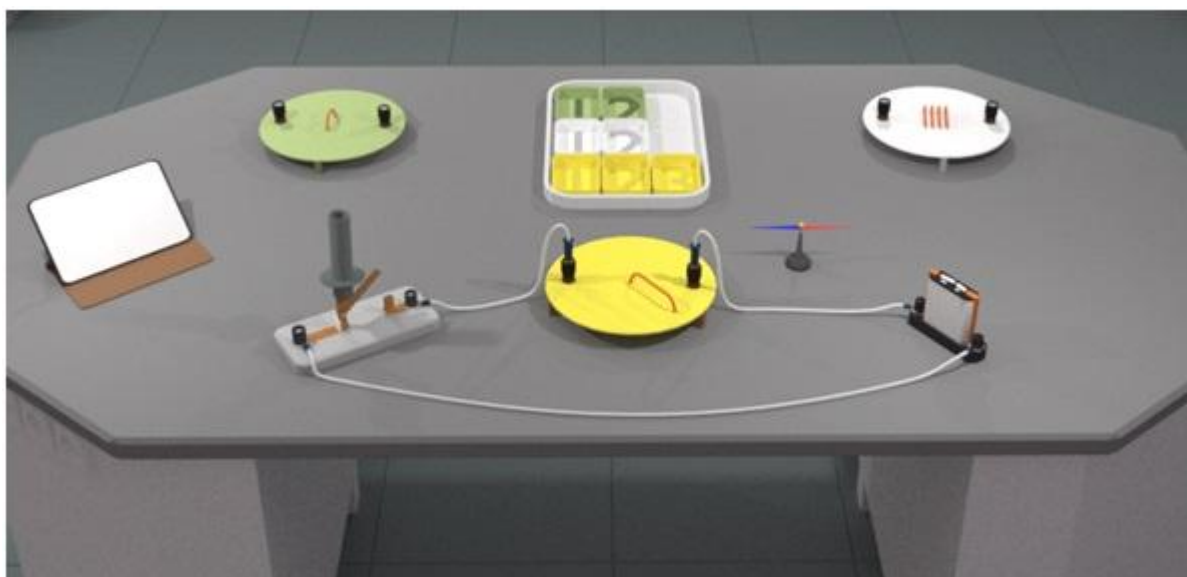


Рис. 80. КС демонстрационного физического эксперимента «Магнитное поле тока» (проект ст. Н. В. Рычагова, ПГГПУ, 2019)

На рисунке 81 представлена модель демонстрационного опыта для изучения барометра-анероида. Данная модель может быть использована для формирования у учащихся умения выполнять измерение атмосферного давления с помощью данного прибора. Школьники работают с разными шкалами и единицами измерения давления (Па, мм. рт. ст.), учатся определять цену деления шкалы прибора и записывать результат с учетом погрешности отсчета. При проведении измерений может быть учтена и инструментальная погрешность барометра-анероида.

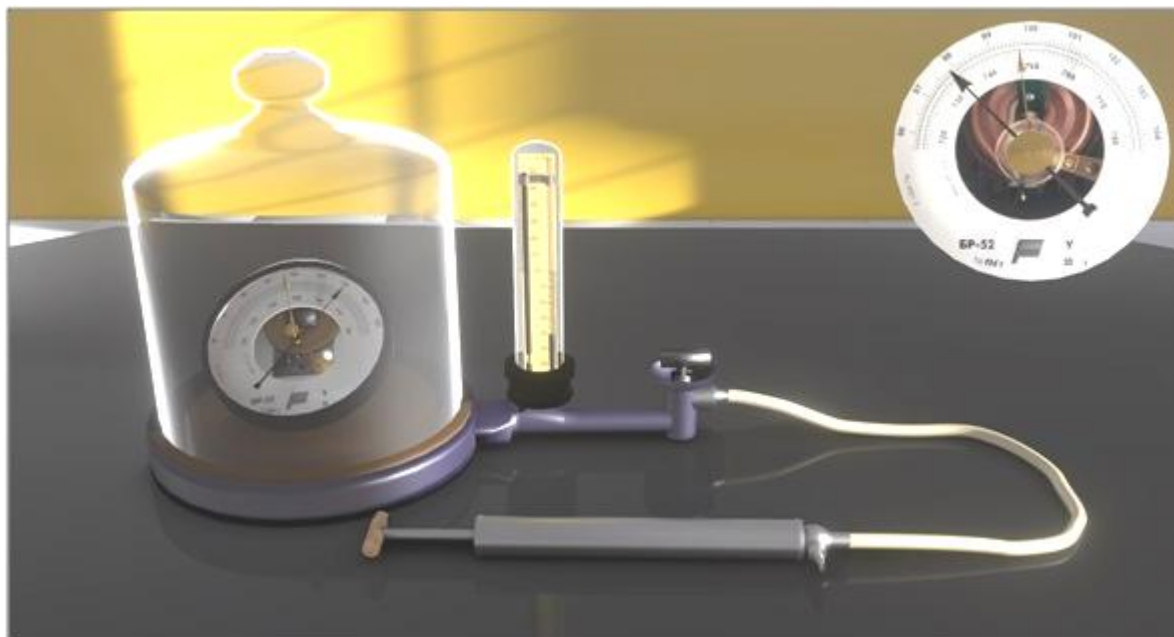


Рис. 81. КС физического эксперимента «Измерение атмосферного давления. Барометр-анероид»: тренажер (проект ст. А. Н. Нохрина, ПГГПУ, 2020) ,

С использованием комплекта приборов для демонстрации видов теплопередачи у учащихся закрепляются знание оборудования и умение его отбирать для эксперимента, выполнять простые опыты, давать сравнительную оценку свойств изучаемых объектов и объяснять наблюдаемые эффекты (рис. 82).



Рис. 82. Комплект приборов и материалов для проведения экспериментов «Виды теплопередачи»: тренажер (проект ст. М. С. Садковой, ПГГПУ, 2020)

На модели демонстрационного эксперимента «Опыт Тиндаля» учащиеся могут освоить способ количественного сравнения удельной теплоемкости металлов (рис. 83).

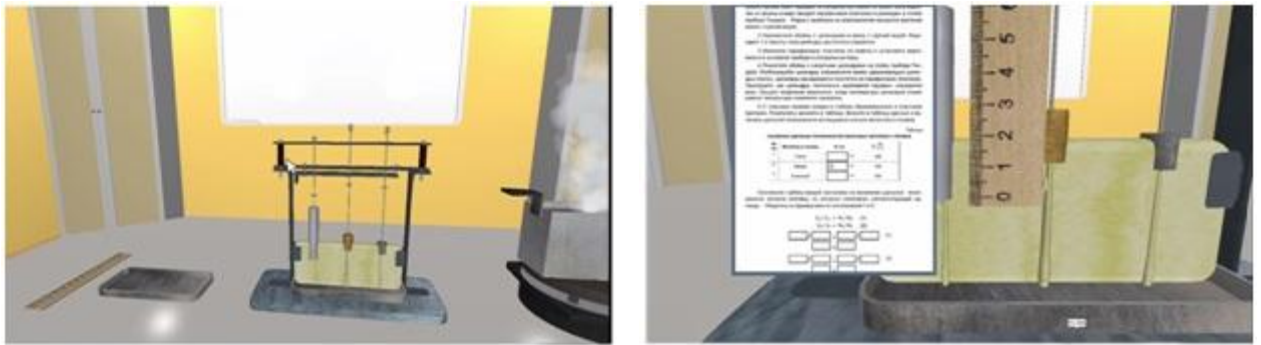


Рис. 83. КС физического эксперимента «Сравнение теплоемкости металлов. Опыт Тиндаля» (проект ст. А. Е. Цой, ПГГПУ, 2020)

Важной составляющей цифрового модуля являются дидактические материалы для самоконтроля. По окончании физического эксперимента возможна самопроверка полученных результатов на основе просмотра образца отчета о его выполнении (рис. 84).

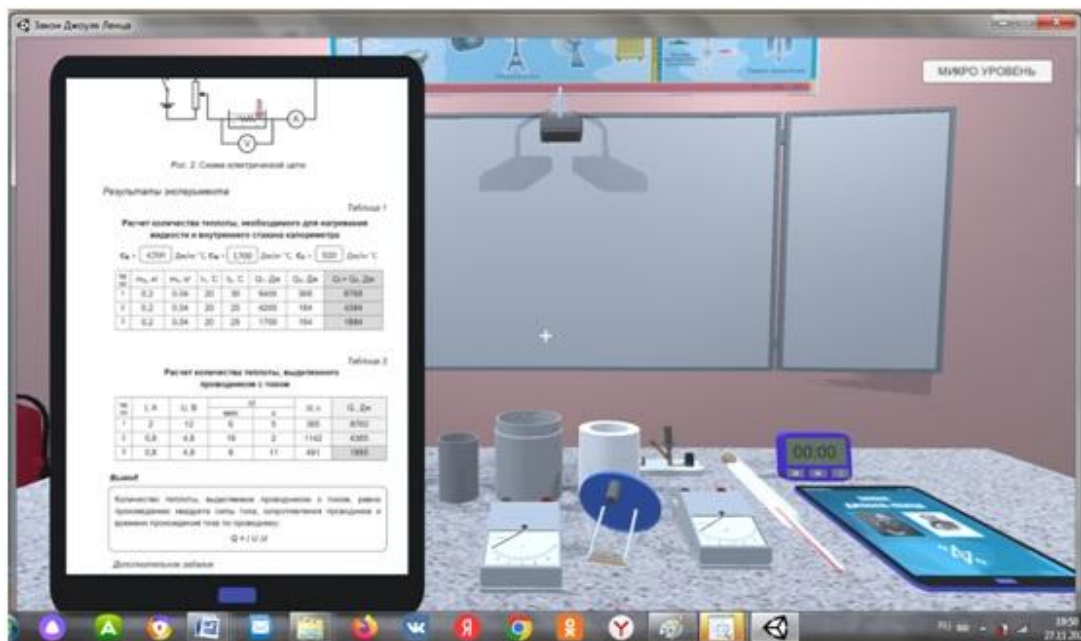


Рис. 84. Образец отчета о выполнении эксперимента (для самоконтроля) «Закон Джоуля-Ленца» (проект ст. Л. Ю. Худорожкова, ПГГПУ 2022)

Основой для самоконтроля является *тест*, результаты прохождения которого демонстрируют учащимся качество их работы с цифровым модулем, включающим симуляцию УФЭ. Создание такого теста является для студентов обязательным элементом проектирования. Им рекомендуется составить или подобрать с последующей адаптацией задания, которые бы контролиро-

вали объем и глубину освоения учащимися материалов модуля, включая их методологические знания и умения. Важно использовать разные виды тестовых заданий. Проект теста должен включать оценку результата тестирования и возможность анализа и исправления учащимися допущенных ошибок. (рис. 85).

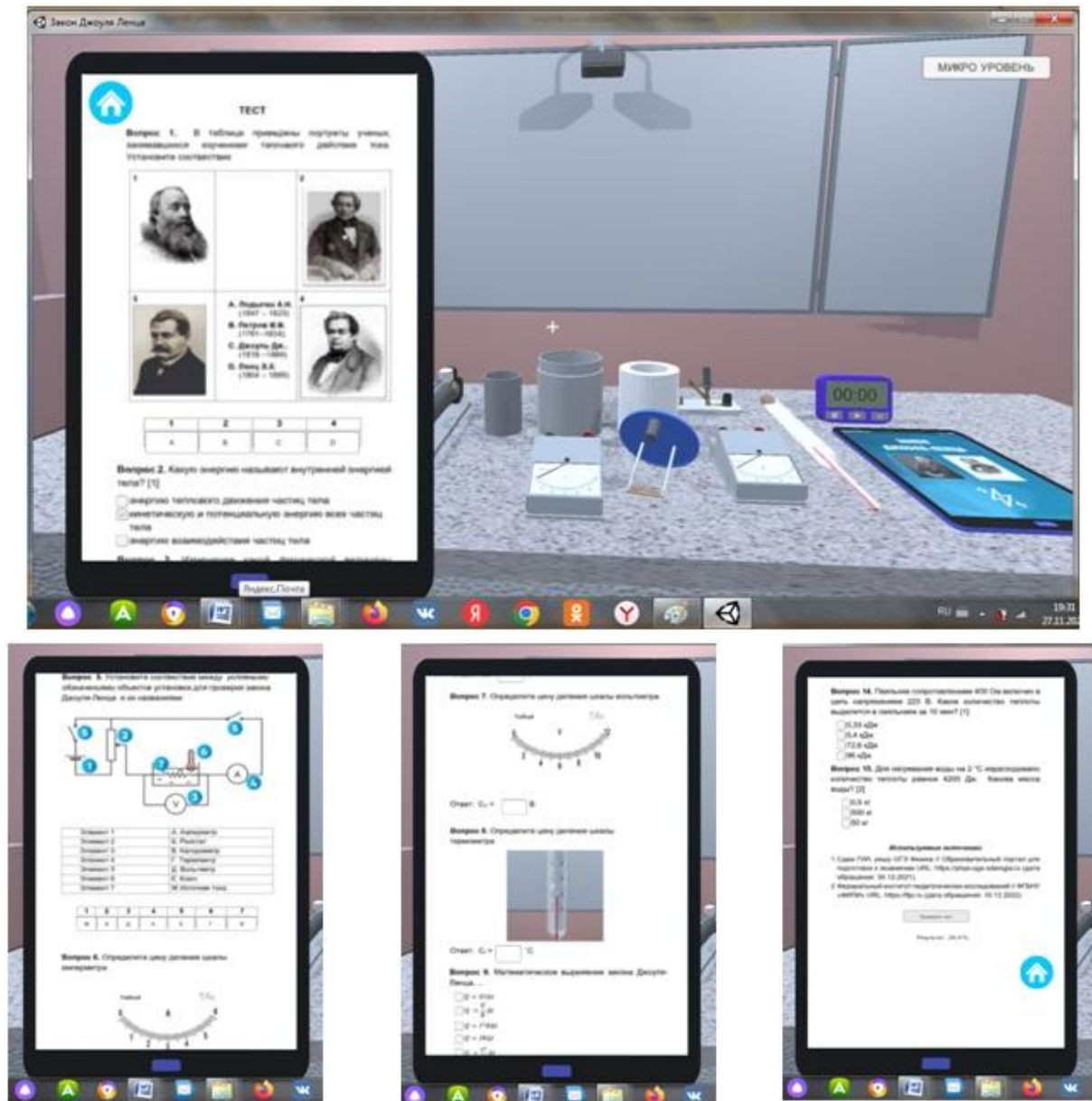


Рис. 85. Тестирование по результатам работы с учебным модулем «Закон Джоуля-Ленца» (проект ст. Л. Ю. Худорожкова, ПГГПУ, 2022)

К дидактическому сопровождению самостоятельной работы пользователя с моделью относится *анимация* и ее отдельные эффекты, реализуемые в учебной сцене. Студентами должна быть выполнена подборка необходимой анимации или спланирована ее самостоятельная разработка. К возможным видам и эффектам анимации относятся: 1) анимация поведения физических

объектов и протекания процессов (включая визуализацию микроуровня их отображения), 2) анимация работы физических приборов, включая в отдельных случаях иллюстрацию принципа их действия; 3) анимация действий пользователя с объектами модели; 4) динамическая визуализация интерпретации результатов экспериментального исследования (графиков, изолиний, изменений структуры объекта и пр.); 5) анимация элементов интерфейса (всплывающие подсказки, подсвечивание интерактивных кнопок, выделение активных элементов установки и т.п.) и др.

Некоторые из примеров анимации были рассмотрены выше при обсуждении содержания третьего этапа работы студентов над проектом (рис. 39, с. 383; рис. 46–60, с. 389–395). Приведем пример еще одного из ее видов, связанный с иллюстрацией особенностей движения исследуемого объекта. На рисунке 86 представлена 3D-симуляция эксперимента по исследованию броуновского движения. На рабочем столе расположены микроскоп и материалы для подготовки препарата для наблюдения движения броуновских частиц. На экране представлено видео броуновского движения и реализована анимация построения перемещений одной из броуновских частиц за равные последовательные промежутки времени. В ходе эксперимента для данной частицы строятся три траектории для интервалов времени наблюдения, равных 10, 20 и 30 секундам. По результатам обработки данных эксперимента учащиеся приходят к выводу, что средний квадрат перемещения броуновской частицы прямо пропорционален времени наблюдения.

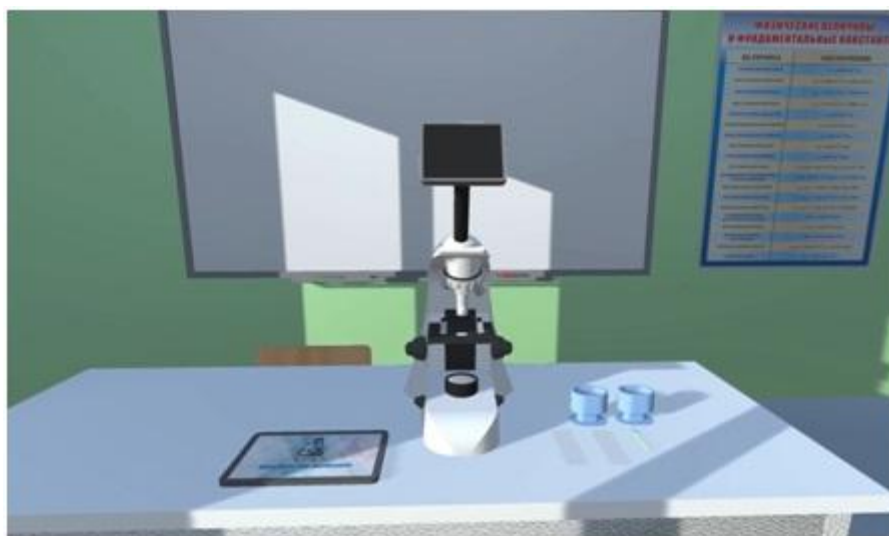


Рис. 86. КС лабораторного эксперимента «Исследование закономерностей броуновского движения» (проект ст. Е. И. Абашева, ПГГПУ, 2022) (начало)



Рис. 86 КС лабораторного эксперимента «Исследование закономерностей броуновского движения» (проект ст. Е. И. Абашева, ПГГПУ, 2022) (окончание)

Подготовка комплекта дидактических материалов должна быть обязательно соотнесена с дидактическими и методологическими функциями создаваемой компьютерной модели УФЭ, обозначенными на первом этапе работы (п. 1.2.2, п. 1.3.2). Для достижения этой цели состав ДМ цифрового модуля должен быть каждым студентом уточнен и/или дополнен. Обширная система видов дидактических материалов является основой для инициативных решений и педагогического творчества студентов.

Пятый этап. *Реализация интерактивного функционала элементов учебного модуля и их сборка в единую информационную систему (регулятивы 7–13).*

Данный этап включает только *процессуальную составляющую* и связан с выполнением задания П6 (с. 165). Основное внимание студентов сосредоточено на разработке программной реализации интерактивных функций модели физического эксперимента, элементов пользовательского интерфейса и дидактических материалов. Однако, как правило, на этом этапе у студентов сохраняется потребность в продолжении работы над заданиями K15-17 концептуальной части проекта с целью дальнейшего (углубленного) изучения основ моделинга и программирования интерактивных элементов цифрового учебного модуля.

Детализированная характеристика интерактивного дидактического функционала симуляций УФЭ представлена в п. 1.3.2 (с. 72–77). Интерактивный функционал компьютерной симуляции и дидактических материалов сопровождения может быть реализован с помощью языков программирования (Java, C/C++, C# и др.). В ряде случаев возможно применение сред разработки компьютерных игр, например, среды Unity или ее аналогов. Однако, данная среда не вполне корректно поддерживает «физику» движения и взаимодействия объектов виртуальной учебной сцены, поэтому при ее выборе как среды разработки исправление этого недочета от студентов требуются дополнительные профессиональные усилия. Тем не менее в данной среде могут быть созданы вполне качественные компьютерные симуляции УФЭ, базирующиеся на квазиреалистичном взаимодействии пользователя с виртуальными 2D и 3D-моделями экспериментальных установок. Среда включает инструментарий для применения в моделировании технологий виртуальной (VR), дополненной (AR) и смешанной реальности (MR). Наиболее активные

и способные студенты использовали в разработке проекта указанные выше инструментарий. Отдельные студенты выполняли разработку компьютерных симуляций УФЭ на основе объектно-ориентированной моделирующей системы "Stratum Computer" созданной под руководством О. И. Мухина (ООО «Институт информационных технологий», Пермь) [25].

Еще одним инструментом реализации интерактивного функционала компьютерных моделей является среда Juniverse. Это специальная разработка Лаборатории ЦОР и педагогического проектирования ПГГПУ. Функционал среды ориентирован на создание интерактивных трехмерных моделей учебных объектов по физике. Присутствие и действия пользователя в пространстве учебной сцены реализованы от первого лица по принципам современных RPG (Role Playing Game). Пользователь может перемещаться по сцене, осматриваться вокруг и взаимодействовать с ее объектами.

Особенность данной среды состоит в том, что ее использование базируется на частичной автоматизации процесса создания интерактивных моделей. Это облегчает работу студентов, которые испытывают трудности в программировании. Такой подход не является новым и в целом хорошо себя зарекомендовал при обучении практикующих учителей самостоятельному созданию ЭОР (Д. В. Баяндин, О. И. Мухин, 2002 [28]; А. С. Чирцов, 2014 [162] В. В. Кугуракова, 2019 ⁷²).

Работа в среде Juniverse строится на двух уровнях, отличающихся сложностью решаемых задач: 1) применение готовых инструментальных модулей среды при моделировании интерактивного функционала учебного объекта; 2) корректировка, совершенствование, а также в ряде случаев разработка новых инструментальных модулей для реализации в данной среде интерактивного функционала нетиповых объектов моделирования.

На первом уровне (более простом) программная реализация симуляции УФЭ обеспечивается базовыми модулями среды Juniverse и разработанным студентом в соответствии с содержанием симуляции конфигурационным файлом, в котором описан состав учебной сцены, способы взаимодействия пользователя с ее объектами и взаимодействия объектов друг с другом (как визуальных, как и не визуальных). Такими объектами являются: 1) трехмер-

⁷² Кугуракова, В. В. Математическое и программное обеспечение многопользовательских тренажеров с погружением в иммерсивные виртуальные среды: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.11. – Казань, 2019. – 187 с.

ная модель учебного объекта для визуализации; 2) объекты, описывающие динамические процессы (движение под действием силы тяжести, механические взаимодействия тел при столкновении, пружинные соединения и др.); 3) объекты-триггеры, позволяющие определять положение различных объектов в учебной сцене, в том числе динамических объектов в пространстве, а также выполнять различные действия с объектами; 4) точки подвеса, позволяющие закреплять на них одну или несколько объектов; 5) объекты для имитации воды, огня, дыма и т.п.; 6) прочие объекты, предназначенные для снижения трудоемкости конфигурирования интерактивных сцен.

Для написания конфигурационного файла разработчиком используется специальный язык JuniversScript, предназначенный для обработки интерактивных взаимодействий пользователя с трехмерными объектами (клик клавишей мыши, нажатие на кнопку при наведении на объект и др.) и управления параметрами этих объектов (положение на сцене, вид движения, скорость перемещения и др.).

В среде Juniverse имеется готовый инструментальный модуль для реализации функционала такого объекта как «виртуальный планшет», в который загружаются дидактические материалы и реализуются их интерактивные свойства. Данный инструмент обеспечивает вывод на экран информации, поддерживающей работу пользователя с объектами сцены. Это могут быть инструктивные указания к проведению эксперимента, таблицы для записи результатов опыта, координатные плоскости для построения графиков, тесты для самоконтроля и др.). Реализована функция последующей проверки введенных пользователем данных.

На втором уровне сложности инструментальные модули среды Juniverse либо обновляются студентами в текущем режиме работы, либо самостоятельно разрабатываются под актуальные задачи моделирования. При создании таких модулей осуществляется самостоятельное программирование студентами интерактивных функций объектов учебной сцены на языке Java.

К среде разработки интерактивных моделей Juniverse прилагается документация и набор примеров для изучения ее функционалом и подготовке к самостоятельной работе по созданию интерактивных трехмерных симуляций физических объектов. Разработка собственно трехмерных объектов

(3D-моделинг) к функционалу среды не относится и реализуется в специальных 3D-редакторах (Blender, Autodesk 3ds Max, Autodesk Maya и др.).

Кроме языков и сред программирования студентами используются различные веб-сервисы для создания интерактивных цифровых дидактических материалы (тестов, инфографики, интерактивного видео и т.п.). Могут использоваться сервисы для разработки ментальных карт, возможно применение сервисов платформ дистанционного обучения. В ряде случаев может быть использован инструментарий табличных процессоров, математических пакетов и сред (Mathcad, Maple, MathLab, AutoCad MicroCap, LabVIEW и др.). От пользователя в этом случае не требуется знания основ программирования, но на освоение этих инструментов, тем не менее, потребуются дополнительные усилия и время.

Целесообразно поощрение самостоятельного инициативного поиска, освоения и применения студентами новых современных технологий создания цифровых учебных ресурсов. В связи этим следует отметить публикацию Б. Е. Стариченко, в которой справедливо отмечается, что «...содержание ИКТ-подготовки должно определяться из понимания состояния современных информационных технологий, которые могут быть использованы в образовательном процессе, а также перспектив их развития» [134, с. 6]. Автор подчеркивает необходимость «...изменения содержания осуществляемой ИКТ-подготовки от освоения отдельных (зачастую устаревших) инструментов и технологий к формированию умений создавать собственную образовательную среду, подключать нужные инструменты и при необходимости самостоятельно их осваивать. В части овладения технологиями создания учебных материалов необходимо переориентироваться на современные виды образовательных ресурсов и форматы их представления» [134, с. 13].

Окончательный выбор инструментария для выполнения проекта остается за студентом. В случае подготовки коллективного (или группового) проекта (например, создания виртуального интерактивного лабораторного практикума) используются единые инструменты моделирования. На освоение технологий разработки элементов цифрового модуля отводится значительная часть времени самостоятельной работы студентов. В случае затруднений в работе организуются коллективные и индивидуальные консультации преподавателями кафедры и сотрудниками Лаборатории.

Интерактивный функционал модуля, созданного каждым студентом, проходит контрольное тестирование. Организуется работа в парах или малых группах с целью контроля качества интерактивных функций КС. Оценка осуществляется на основе заданной разработчиком фасетной формулы интерактивной компьютерной симуляции УФЭ. Выявляются ошибки и недочеты в создании ресурса, осуществляется его доработка. На рисунках 87–93 приведены модели, реализованные студентами в разных инструментальных средах, в том числе с применением технологии дополненной реальности.

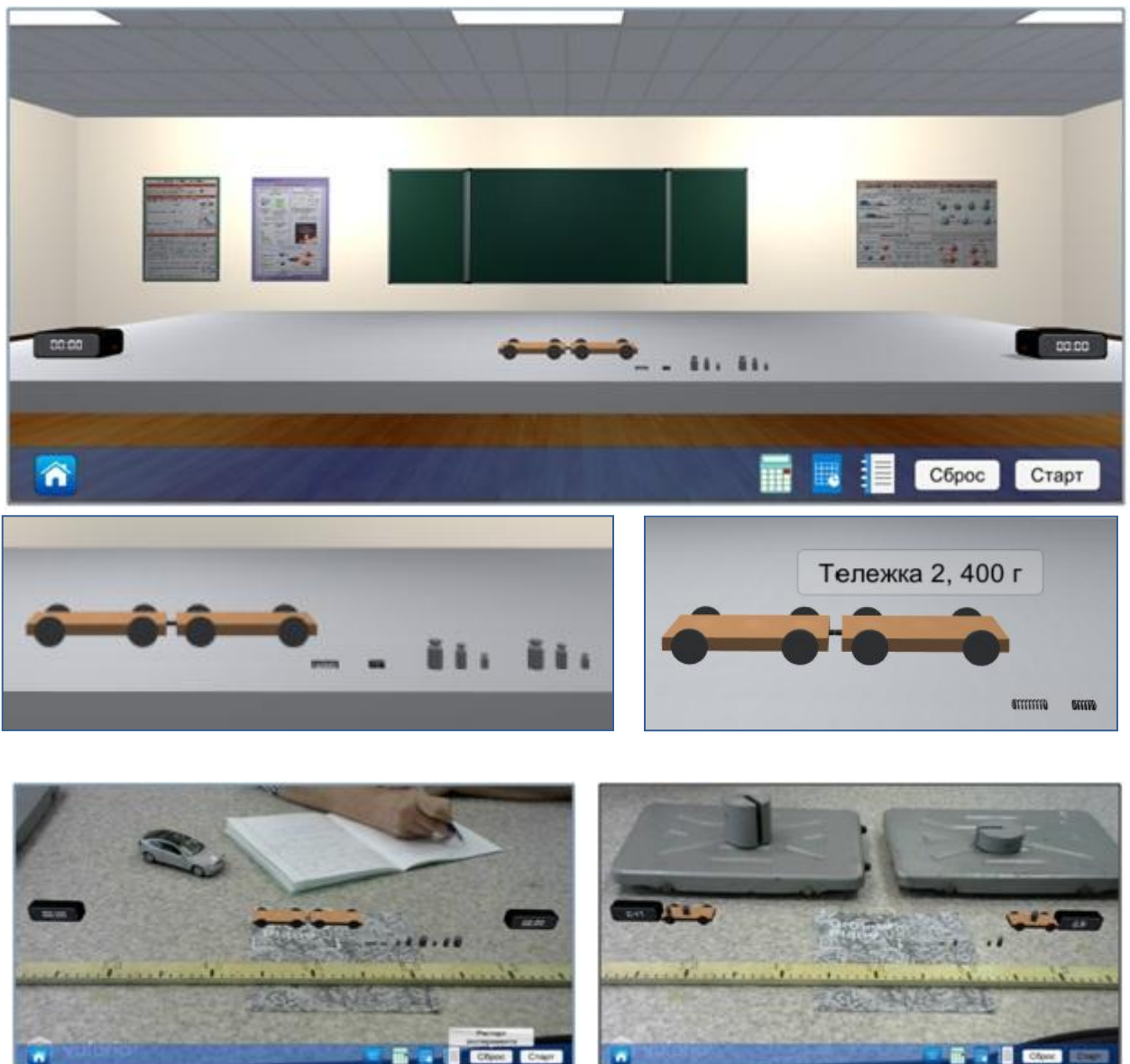


Рис. 87. КС УФЭ по теме «Закон сохранения импульса» с включением функции дополненной реальности (среда Unity): (проект ст. Е. В. Спирина, ПГГПУ, 2019) [8]

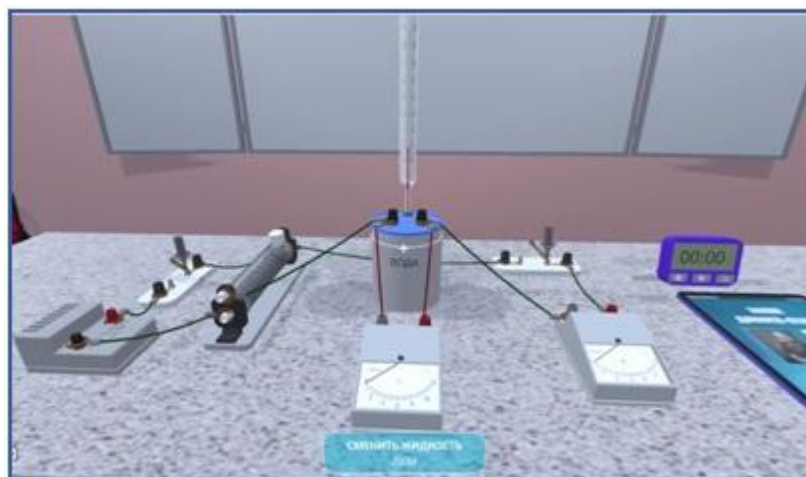


Рис. 88. КС УФЭ по теме «Закон Джоуля-Ленца» (среда Unity)
(проект ст. Л. Ю. Худорожкова, ПГГПУ, 2022)



Рис. 89. КС УФЭ «Закон сохранения импульса» (среда Juniverse)
(проект ст. Е. В. Бушкова, ПГГПУ, 2019)

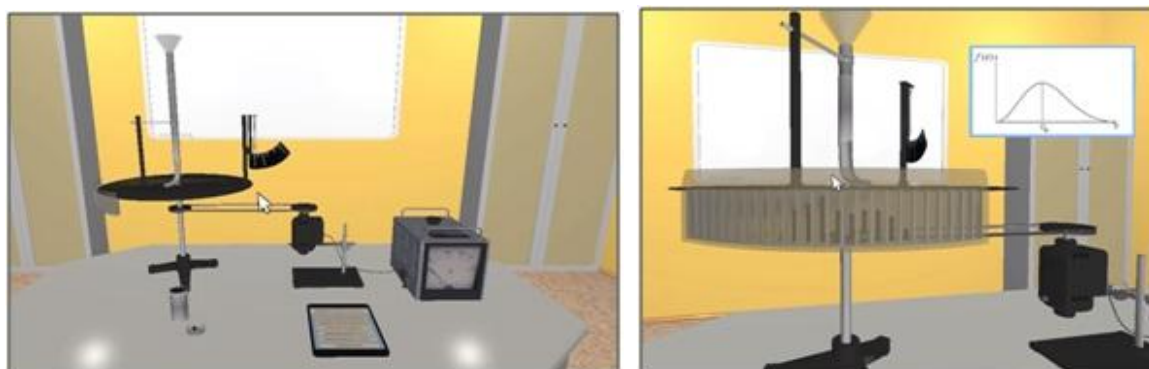


Рис. 90. КС УФЭ «Механическая модель опыта Штерна» (среда Juniverse)
(проект ст. А. Е. Цой, ПГГПУ 2020) [8]

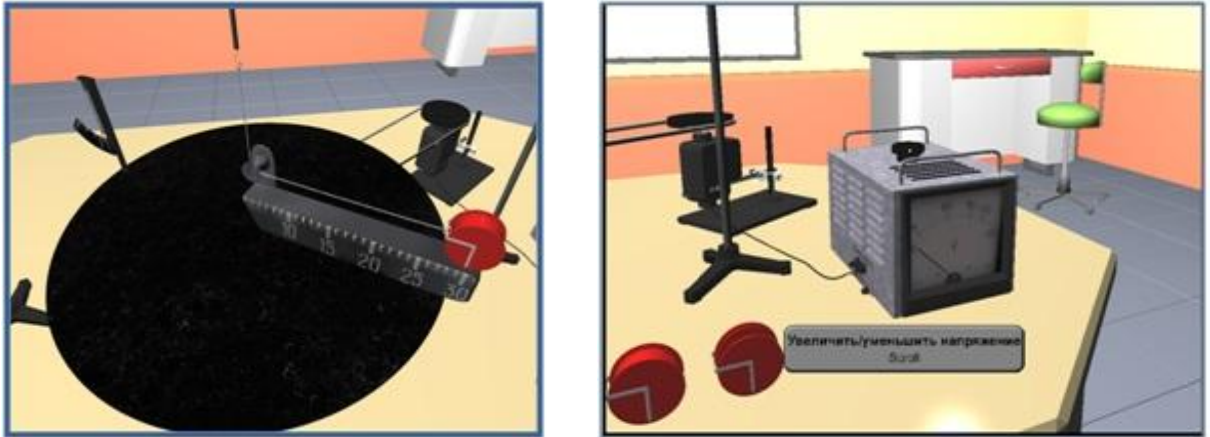


Рис. 91. КС УФЭ «Второй закон Ньютона на примере вращательного движения» (среда Juniverse) (проект ст. Ф. С. Матвеева, ПГГПУ 2019)



Рис. 92. КС УФЭ «Законы геометрической оптики» (среда Juniverse) (проект ст. А. А. Трушова, ПГГПУ, 2019)

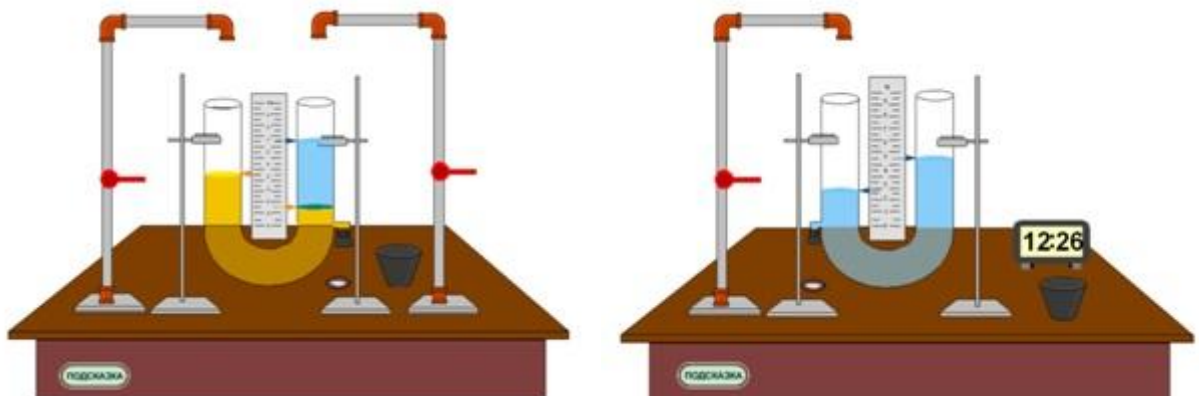


Рис. 93. Интерактивные модели по теме «Сообщающиеся сосуды»: а) равновесие двух жидкостей в U-образной трубке, б) исследование колебаний жидкости в U-образной трубке (система «Stratum Computer», ООО ИИТ, Пермь, проект ст. А. Е. Финского, ПГГПУ, 2020 [20])

Шестой этап. *Создание веб-версии цифрового учебного модуля.* Это не-сложный для реализации этап проектной работы студентов, но весьма актуальный для обеспечения более широких возможностей применения в обучении подготовленного ими цифрового учебного модуля (*регулятив 13*).

Концептуальная составляющая этапа связана с продолжением работы над заданием K17 (с. 164). Студенты обращаются к поиску конструкторов сайтов и платформ для дистанционного обучения, их анализу и выбору. В учебной практике РЛ могут использоваться инструменты открытого доступа или демоверсии платных ресурсов. Как показала практика, в дистанционном формате может быть существенно расширен состав дидактических материалов модуля. Это интерактивная инфографика, интерактивное видео, интерактивные ментальные карты, различные игровые приложения и др.

Использование дистанционных технологий создает дополнительные возможности взаимодействия субъектов образовательного процесса, включая совместную деятельность. Это находит отражение не только в обновлении организационных форм обучения, но и в расширении дидактических возможностей его традиционной практики. Данное обстоятельство учитывается впоследствии студентами при проектировании учебного процесса по физике с применением созданного ими цифрового учебного модуля.

Процессуальная составляющая этапа состоит в выполнении задания П7 (с. 165). Создается веб-версия учебного модуля. В процессе работы студенты выбирают и осваивают инструменты разработки, продумывают состав и дизайн веб-страниц, при необходимости создают дополнительные дидактические материалы к модулю и/или модифицируют имеющиеся (рис. 94, 95),

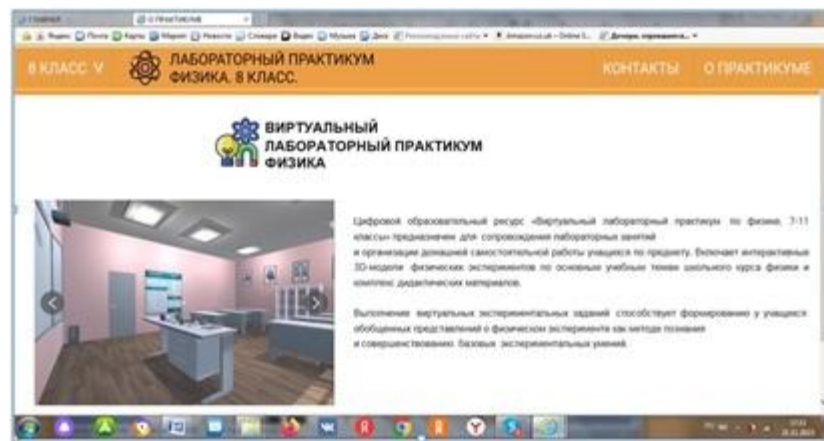


Рис. 94. Веб-версия цифрового модуля «Закон Джоуля-Ленца» (проект ст. Л. Ю. Худорожкова, ПГГПУ, 2022) (начало)

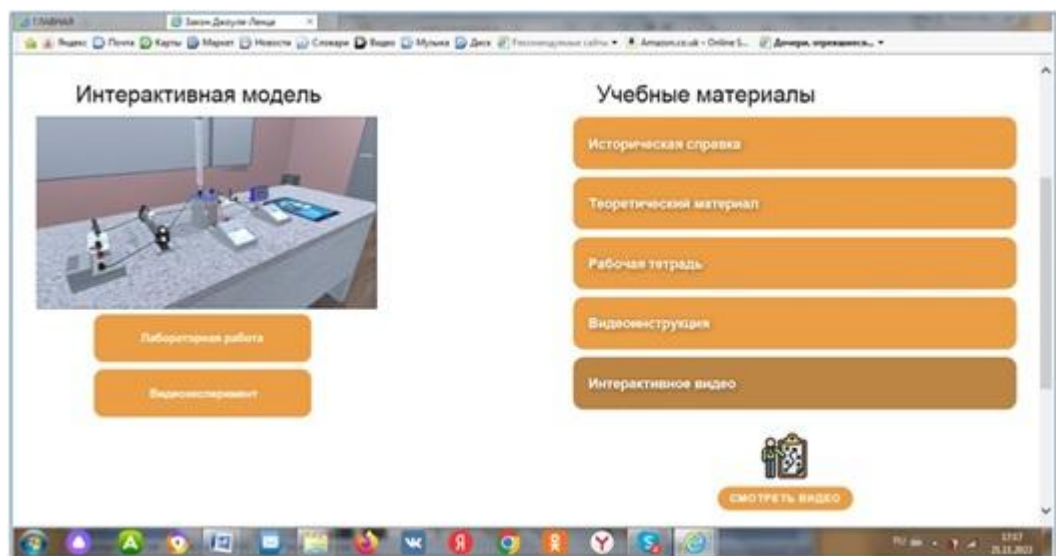
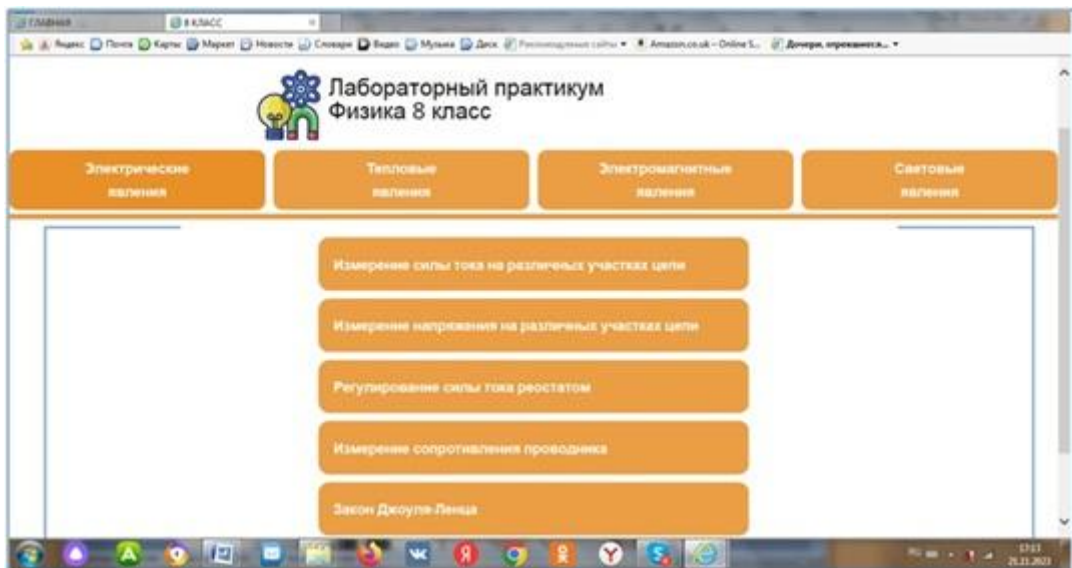
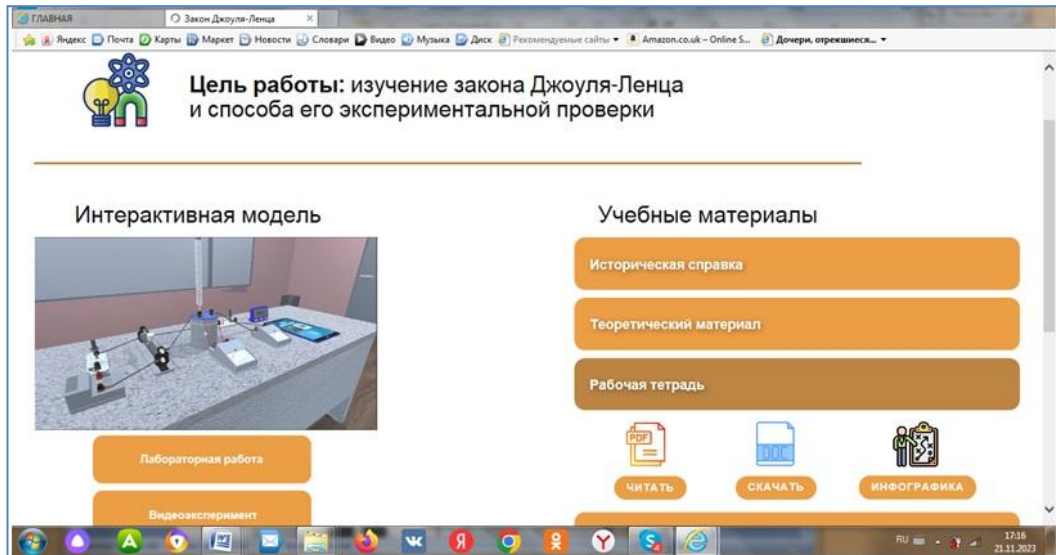


Рис. 94. Веб-версия цифрового модуля «Закон Джоуля-Ленца» (проект ст. Л. Ю. Худорожкова, ПГГПУ, 2022) (окончание)



Рис. 95. Веб-версия цифрового модуля «Сложение сил»
(проект ст. А. М. Сапрыкина, ПГГПУ, 2022)

Веб-модуль включает ресурсы для закрепления учебного материала и контроля его усвоения. Для подготовки таких ресурсов студентами могут использоваться различные веб-сервисы, в частности сервисы для создания инфографики (Canva, Easelly, VistaCreate и др.) (рис.74-75, с. 411–412), разработки интерактивного видео (Edpuzzle, EDpuzzle и др.) (рис. 96), организации тестирования (Online Test Pad, LearningApps, Quizizz и др.) (рис. 97).

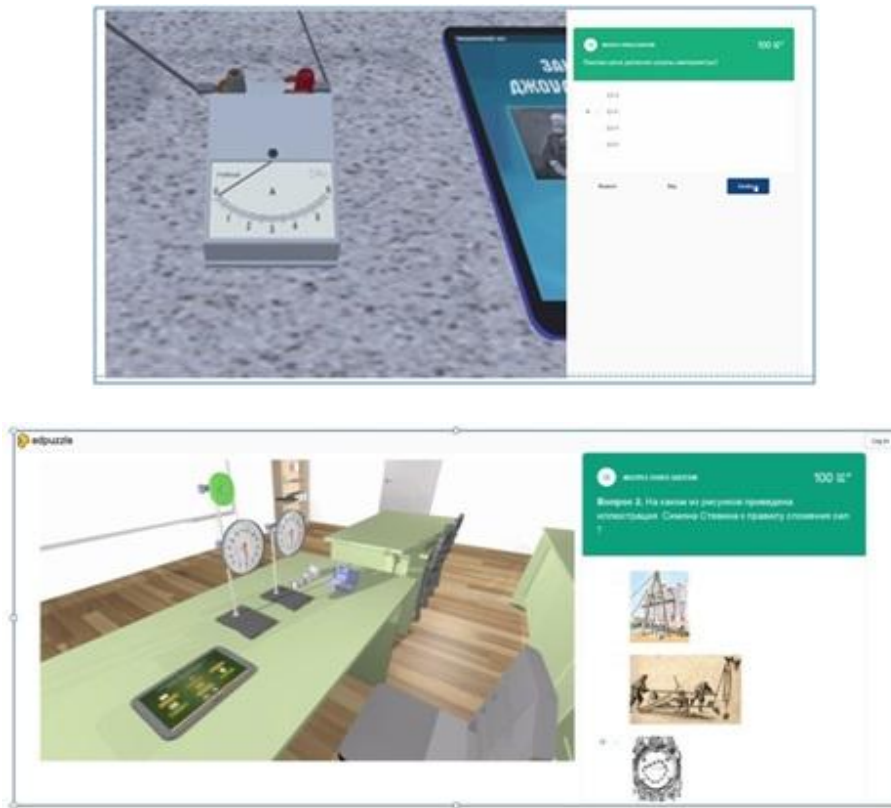


Рис. 96 Фрагменты интерактивного видео
(проекты ст. Л. Ю. Худорожкова, А. М. Сапрыкина, ПГГПУ, 2022)



Рис. 98. Фрагмент интерактивного теста к модулю «Определение внутреннего сопротивления источника» (проект ст. О. А. Божок, ПГГПУ, 2022)

Созданные студентами веб-версии модулей проходят тестирование (в парах, малых группах). При необходимости осуществляется доработка веб-ресурсов. Студентам в рамках малых групп была выдвинута и частично реализована идея объединения разработанных модулей в единый веб-ресурс по учебным параллелям и отдельным темам школьного курса физики.

Седьмой этап. *Разработка плана апробации проекта, его реализация* (регулятивы 1–15). *Концептуальная составляющая* этапа связана с выполнением *заданий K14 и K18*. Задание K14 ориентировано на анализ студентами опыта проведения занятий с применением компьютерных моделей. Источником информации являются научно-методические публикации и материалы, представленные на педагогических сайтах. Результатом анализа должны стать выделение основных видов работы учащихся с компьютерными моделями физических объектов и процессов, оценка содержания учебной деятельности (углубление и закрепление знаний по учебной теме, формирование у учащихся экспериментальных умений, освоение опыта компьютерного моделирования), характеристика используемых учителями методов, приемов и средств обучения.

Процессуальная составляющая проекта состоит в выполнении задания *П8*. Студентами разрабатывается проект учебного занятия по физике с применением созданного ресурса в его локальной версии или в веб-версии. Это может быть проект фрагмента занятия или проект занятия в целом для учащихся, осваивающих курс физики на *базовом уровне*. Модель обучения на данном уровне подготовки представлена в п.1.2.3. (с. 51). Форма занятия определяется студентом.

При проектировании занятия основное внимание должно быть уделено организации работы учащихся с компьютерными симуляциями и реализации их методологических и дидактических функций. Студент должен продемонстрировать возможности применения в обучении компьютерных симуляторов физического эксперимента как средства подготовки учащихся в области методологии экспериментального исследования, методику использования «готовых» КС как средства обучения компьютерному моделированию физических процессов, а также технологию организации учебной деятельности, связанную с применением данных методов познания. В рамках проектируе-

мого учебного занятия кроме авторской КС могут быть использованы и другие компьютерные симуляции физических процессов.

Структура УМК учебного занятия приведена ниже. Это еще один регулятив, который студенты осваивают при изучении дисциплины «*Методика обучения физике*» (6–8 семестры).

Учебно-методический комплекс (УМК) занятия

1. Тема учебного занятия.
2. Форма учебного занятия.
3. Класс, профиль, специфика обучения.
4. Цели: *обучения, воспитания, развития.*
5. Учебные задачи занятия.
6. Дидактическая структура занятия.
7. Диагностика результативности обучения на занятии.
8. Проект содержания и оформления записей на доске (презентация MS PP к занятию) и в ученической тетради (в том числе, цифровых версий отчетов учащихся о работе).
9. Дидактические средства:
 - демонстрационный эксперимент (цель, оборудование, включая аппаратные средства для автоматизированного эксперимента и ПО);
 - фронтальный лабораторный эксперимент, фронтальные наблюдения (цель, оборудование, включая аппаратные средства к автоматизированному эксперименту и ПО);
 - модели технических приложений физической науки (машины, установки, инструменты и пр. или их модели);
 - аудио- и видеоресурсы (название ресурса или его фрагмента);
 - ресурсы и инструменты виртуальной среды (локальные и сетевые предметные ЭОР, инструменты учебной деятельности, инструменты управления учебным процессом, авторские ЭОР учителя);
 - игровые учебные объекты;
 - дидактический раздаточный материал для самостоятельной работы учащихся, включая комплект дидактических материалов для организации работы учащихся с ресурсами и инструментами виртуальной среды;
 - литература и цифровые ресурсы для учащихся (основные, дополнительные);
 - система используемых средств ТАСО, включая АРМ учителя и учащихся.
10. Конспект занятия.
11. Литература для учителя и цифровые ресурсы (основные, дополнительные) [104, с.587].

Для разработки проекта занятия (или его фрагмента) студентам предлагается воспользоваться созданным на базе Лаборатории ЦОР и педагогического проектирования ПГГПУ (Пермь) приложения «Мастер-класс учителя физики» (рис. 99).



Рис.99. Приложение для разработки УМК учебного занятия «Мастер-класс учителя физики»: инвариантная структура УМК (модели и шаблоны для проектирования)⁶⁵

Приложение включает систему моделей и шаблонов проектирования учебного процесса и является средством сопровождения деятельности учителя по разработке компонентов учебно-методического комплекса занятия по физике. Содержание приложения включает широкий комплекс дополнительных регулятивов, ориентирующих студента на глубокий анализ ключевых направлений проектирования занятия, и обеспечивает предупреждение типичных ошибок в выполнении данной деятельности.⁷³ Подготовленный в данном приложении УМК может быть сохранен и распечатан в стандартизированной форме (рис. 100). В составе УМК должен быть представлен разработанный студентом цифровой модуль, включающий компьютерную симуляцию учебного физического эксперимента и ссылки на дополнительные КС физических процессов, которые предполагается использовать на учебном занятии.

При возникновении затруднений в выполнении заданий *K14*, *K18* и *П8* целесообразно проведение преподавателем лекции-консультации.

Апробация проекта может быть выполнена в разных формах. Это может быть подготовка и публикация тезисов или методической статьи (выполне-

⁷³ Оспенникова, Е. В. Развитие самостоятельности школьников в учении в условиях обновления информационной культуры общества: монография: в 2 ч. Ч. II. Основы технологии развития самостоятельности школьников в изучении физики. – ПГПУ: Пермь, 2003. – 329 с. .

ние задания К18). Возможны подготовка и проведение студентом занятия в школе в период практики (научно-исследовательской или преддипломной).

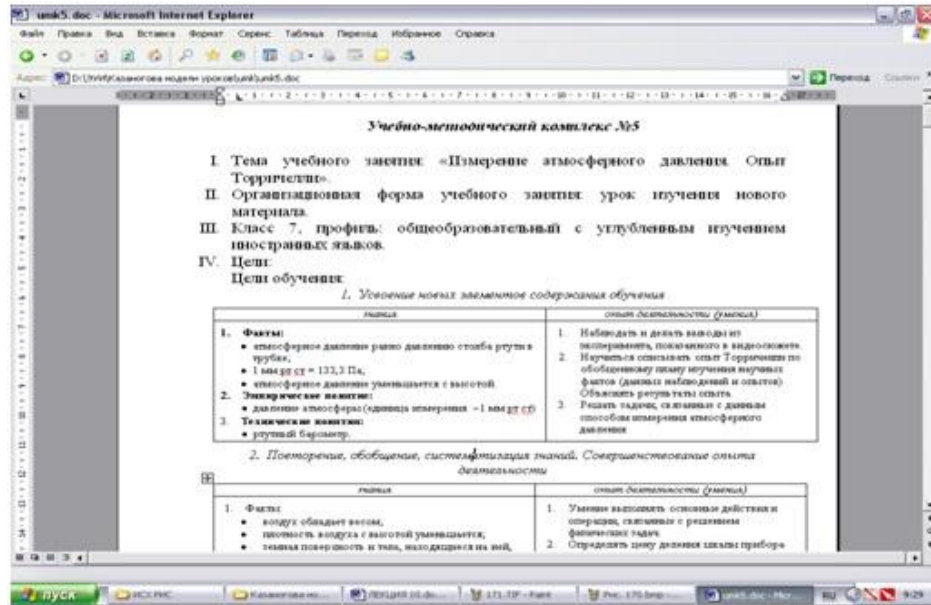


Рис.100. Проект УМК занятия «Измерение атмосферного давления» (проект ст. Д.Т, Каликова, ПГГПУ 2019)

Проект занятия и созданный студентом ресурс могут быть переданы в школу для апробации практикующим педагогом. Целесообразными являются выборочное проведение в академической группе подготовленных студентами фрагментов учебных занятий в форме деловой игры и организация коллективной рефлексии проектной деятельности по ее результатам. Обязательной для всех студентов формой апробации является подготовка аннотации проекта и публичное выступление с его презентацией на учебной конференции или методическом семинаре в вузе.

Восьмой этап. Подведение итогов проекта. Данный этап является заключительным. К его началу преподавателем *PL* должны быть выполнены следующие виды работы.

1. Анализ и обобщение результатов продуктивной деятельности студентов над заданиями концептуального и процессуального типа. Выявление типичных недостатков и наиболее успешных решений студентов в выполнении продуктивных актов. Анализ используемых студентами библиографических источников проектной работы, обновление информационной базы продуктивного обучения.

2. Создание учебно-методической базы материалов проектирования: а) собственно проекты в виде программных модулей; б) комплекты исходных материалов по каждому проекту (3D-модели учебного оборудования и экспериментальных установок физических экспериментов, цифровые макеты дидактических и учебно-методических материалов, включая аннотации, презентации проектов, подготовленные публикации). На основе данных материалов формируются учебно-методические коллекции для их использоваться в дальнейшей работе преподавателя и студентов. Данные коллекции будут полезны не только при организации продуктивного обучения по рассматриваемой дисциплине, но и в рамках других дисциплин и курсов учебного плана, в ходе педагогической практики студентов, при выполнении курсовых и дипломных проектов. К формированию коллекций целесообразно привлекать студентов.

3. Организация экспертизы проектов, подготовленных студентами (экспертиза внутри академической группы, экспертная оценка преподавателями кафедры, а также коллективом сотрудников научно-методической Лаборатории (при наличии), внешняя экспертиза преподавателями физики средней школы). В ходе экспертизы анализ созданного цифрового модуля осуществляется на основе критериев, представленных *регулятивами 12 и 13* (с. 122–124). Учитываются общие критерии экспертной оценки цифрового ресурса, приведенные в работе [104, с. 245].

На завершающем этапе проводится *обобщающая лекция*. В ее содержании представлены: а) систематизация и обобщение самостоятельно приобретенных студентами знаний и опыта деятельности, включая их необходимую итоговую корректировку; б) общая экспертная оценка результатов проектной работы; в) ознакомление студентов в индивидуальном режиме с результатами экспертизы их проектов с указанием возможных направлений их дальнейшего развития.

По итогам освоения программы дисциплины проводится *научно-методический семинар* (или учебная конференция), на которой организуется презентация подготовленных студентами проектов, обсуждаются наиболее оригинальные проектные решения, демонстрируются тематические учебные модули в форме небольших лабораторных практикумов, подготовленных студентами в ходе работы в малых творческих коллективах. По итогам семинара

даются рекомендации к внедрению наиболее успешных проектов, рассматриваются направления дальнейшей работы над проектами (включая дипломное проектирование, подготовку публикаций, участие в профессиональных конкурсах и т.п.), обсуждаются перспективные направления технологий компьютерного моделирования и его применения в учебном процессе по физике в средней общеобразовательной школе. Семинар проводится на базе научно-методической Лаборатории вуза (при наличии) или на базе соответствующей кафедры. К участию в семинаре приглашаются студенты, сотрудники Лаборатории, представители заказчика, а также магистранты, аспиранты авторы-разработчики ЦОР, учителя физики средних школ.

2.12. ПРИМЕРЫ ПРОЕКТНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

В ходе опытно-поисковой работы в период с 2019 по 2022 гг. на базе Лаборатории ЦОР и педагогического проектирования Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета студентами было подготовлено более 100 компьютерных симуляций УФЭ. Модели отличаются: видом, назначением, сложностью математической модели, алгоритмом реализации, компьютерной графикой, качеством интерфейса, уровнем интерактивности, дидактическим и методологическим функционалом, составом дидактических материалов, средой и инструментарием разработки. Некоторые модели представлены в двух версиях, основу которых составляют избранные студентами разные дидактические подходы и технологические решения.

Перед студентами ставилась задача создания КС, предназначенных преимущественно для их применения в курсе физики *базового уровня* подготовки. Были разработаны компьютерные симуляции двух видов: УКСЛЭ (симуляторы УФЭ) и УВЛЭ, сочетающие в функции симулятора и учебного компьютерного вычислительного эксперимента (УКВЭ). Рассмотрим особенности данных видов КС, созданных студентами.

Компьютерные симуляторы УФЭ. Разработку данного вида КС выполняли все студенты, участвовавшие в опытно-поисковой работе. Были созданы симуляторы двух подвидов.

К первому подвиду относятся *симуляторы лабораторных экспериментов*. От своих реальных прототипов такие симуляторы отличаются наличием дополнительного оборудования и более широким диапазоном изменения

параметров исследуемых физических явлений (объектов, процессов), что, как правило, является недоступным при выполнении учебных опытов в условиях школьной лаборатории (рис. 101–103).

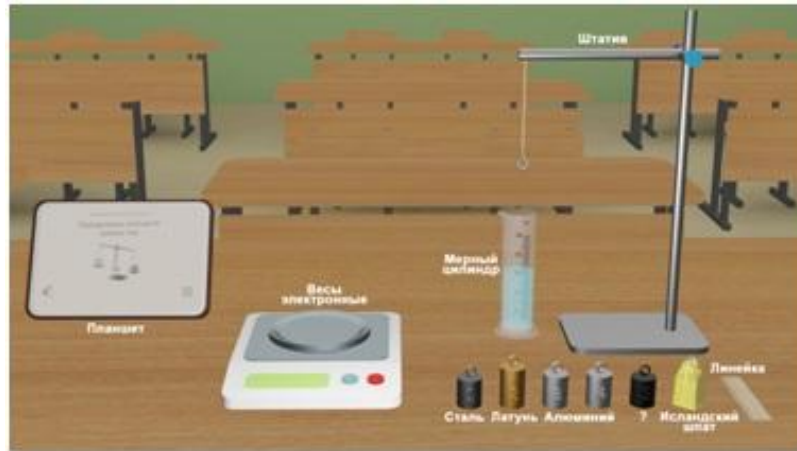


Рис.101. Симулятор лабораторного эксперимента «Определение плотности тела» (проект ст. А. А. Вотяковой, ПГГПУ, 2022)

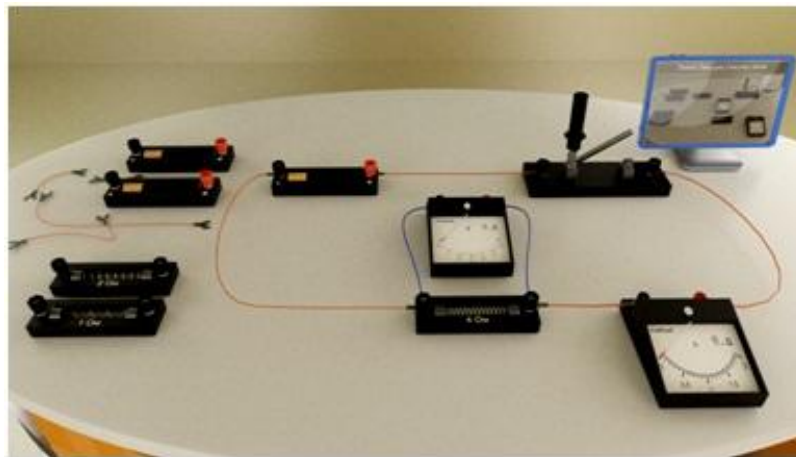


Рис. 102. Симулятор лабораторных экспериментов «Законы постоянного тока» (проект ст. Д. М. Харина, ПГГПУ, 2021)

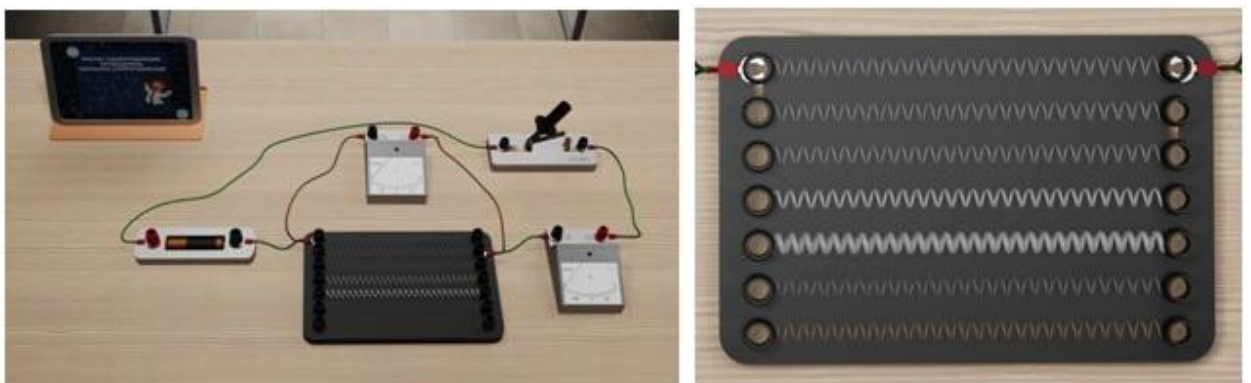


Рис. 103. Симулятор лабораторного эксперимента «Расчет сопротивления проводника. Удельное сопротивление» (проект ст. В. А. Якушевой, ПГГПУ, 2022)

Компьютерные симуляторы УФЭ являются средством обогащения экспериментального опыта обучающихся. Работа с ними связана с существенно меньшими временными затратами в сравнении с работой на реальной экспериментальной установке, что является важным условием для дополнительного изучения школьниками содержания и способов постановки различных физических экспериментов. Применение симуляторов целесообразно в качестве средства отработки и закрепления экспериментальных ЗУН (тренажеров) (рис. 104–106).



Рис. 104. Симулятор лабораторного эксперимента «Условие равновесия рычага» (проект ст. Е. С. Трофимова, ПГГПУ, 2019)



Рис. 105. Симулятор лабораторного эксперимента «Закон сохранения импульса» (проект ст. Е. В. Спирина, ПГГПУ, 2019)



Рис. 106. Симулятор лабораторного эксперимента «Закон сохранения энергии» (проект ст. С. В. Давыдова, ПГГПУ, 2019)

Второй подвид – это симуляторы *демонстрационных экспериментов*, для которых в отношении их физических аналогов тоже характерна многовариантность постановки. На основе таких симуляторов могут быть представлены опыты, предназначенные для проведения *только учителем*, т. е. небезопасные или сложные для непосредственного выполнения учащимися. При-

мерами таких эксперимента являются: некоторые опыты по механике (второй закон Ньютона для вращательного движения (рис. 122), опыты с баллистическим пистолетом (рис. 107), демонстрация закона Ома для полной цепи с использованием открытого гальванического элемента (рис. 108), опыты по электростатике, требующие тщательной настройки и аккуратной работы (рис. 109–111), некоторые опыты по изучению звуковых явлений (рис. 112) и др.



Рис. 107. КС демонстрационного эксперимента «Закон сохранения импульса» (проект ст. Г. М. Падучева, ПГГПУ, 2020)

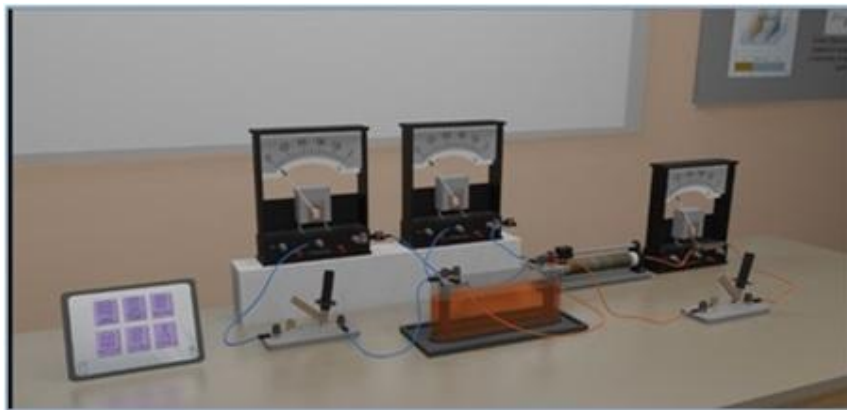


Рис. 108. КС демонстрационного эксперимента «Закон Ома для полной цепи» (проект ст. Д. А. Рахматуллина, ПГГПУ, 2021)



Рис. 109. КС демонстрационного эксперимента «Электризация тел. Два рода зарядов» (проект ст. И. О. Эдерле, ПГГПУ, 2022)

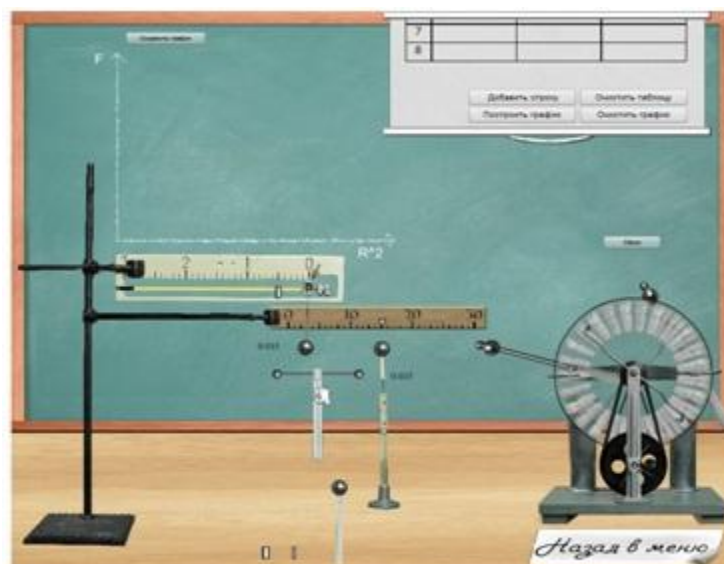


Рис. 110. КС демонстрационного эксперимента «Закон Кулона» (проект ст. А. А. Васильченко, 2022, ПГГПУ, 2019)

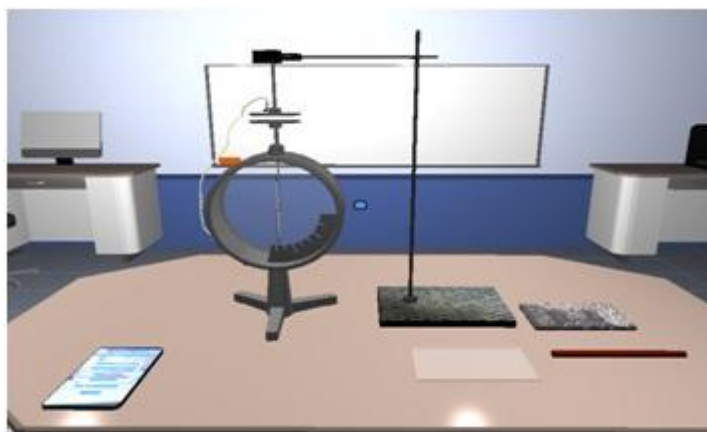


Рис. 111. КС демонстрационного эксперимента «Емкость плоского конденсатора» (проект ст. Е. С. Штенниковой, ПГГПУ, 2019)



Рис. 112. КС демонстрационного эксперимента «Явление звукового резонанса» (проект ст. Д. О. Бобкова, ПГГПУ, 2019) (начало)



Рис. 112. КС демэксперимента «Интерференция звуковых волн. Определение скорости звука» (проект ст. Д.О. Бобкова, ПГГПУ, 2019) (окончание)

Представляют интерес для разработки компьютерных симуляций демонстрационных опытов, в которых реализован только качественный уровень анализа физических явлений. В компьютерной версии такие демонстрации становятся не только доступными учащимся для выполнения, но и дополняются количественными оценками их результатов (гидростатический парадокс, теплопроводность и теплоемкость веществ, точка Кюри и др) (рис.113–115).

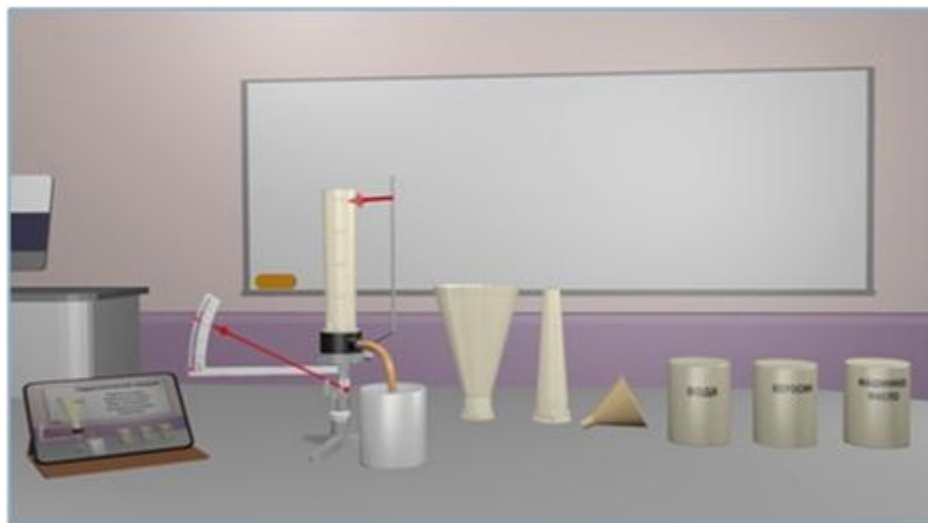


Рис.113. КС демонстрационного эксперимента «Гидростатический парадокс» (проект ст. М. О. Масленниковой, ПГГПУ, 2019)

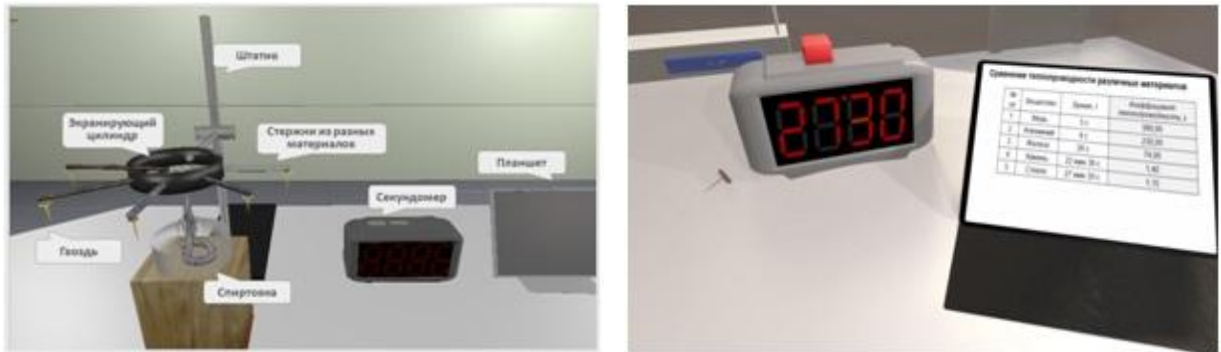


Рис. 114.. КС демонстрационного эксперимента «Сравнение теплопроводности некоторых веществ» (проект ст. О. А. Никулиной, ПГГПУ, 2021)

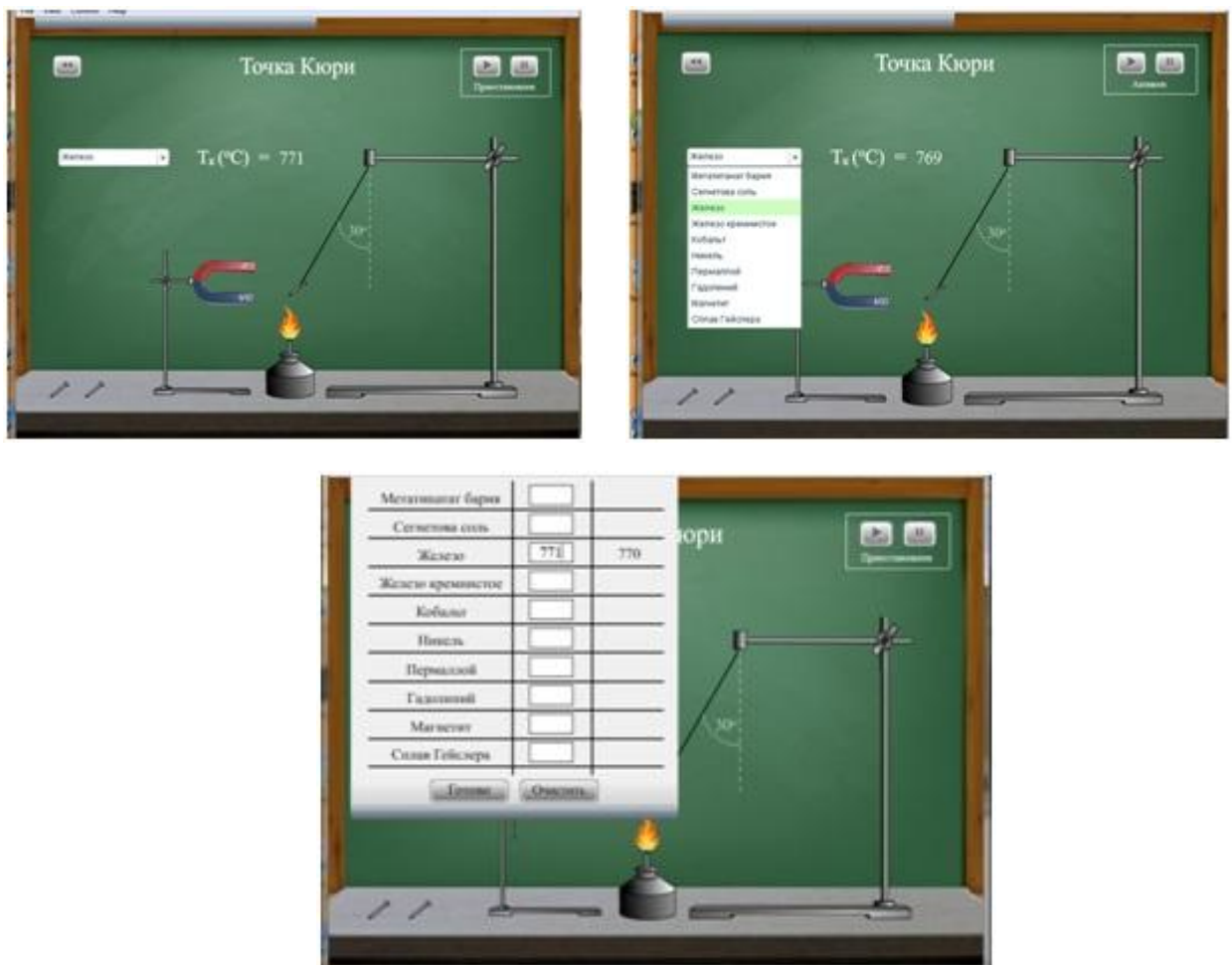


Рис. 115. КС демонстрационного эксперимента «Точка Кюри» (проект ст. М. А. Левченкова ПГГПУ, 2019)

Полезны симуляции некоторых измерительных приборов демонстрационного назначения (рис. 116). Наличие таких симуляторов не только обеспечивает дополнительную поддержку работы учителя при изложении нового материала, но и создает условия для расширения состава экспериментальных заданий для отработки у учащихся измерительных умений.

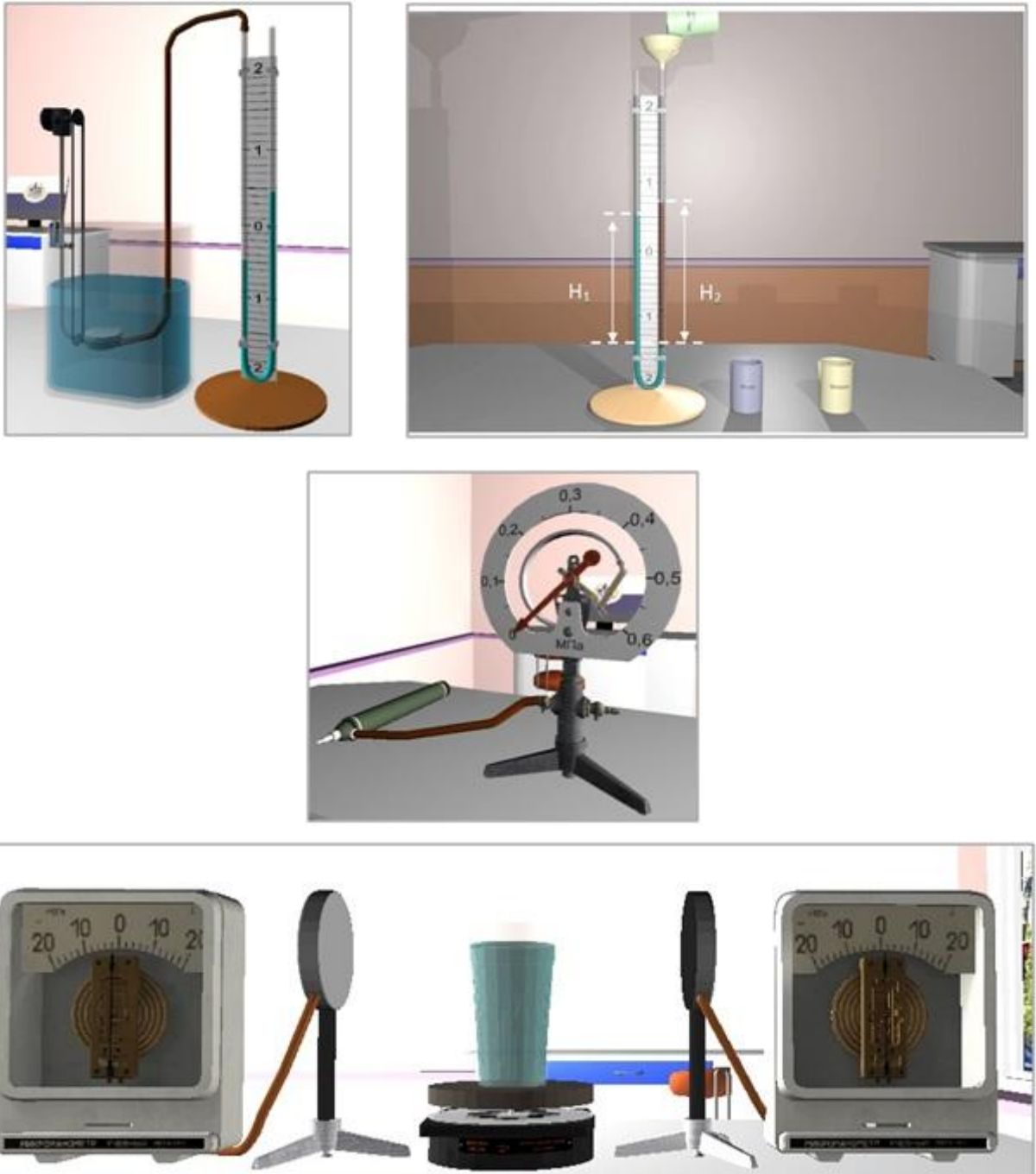


Рис. 116. КС демонстрационных экспериментов по теме «Жидкостные и металлические манометры» (проект ст. Д. Т. Каликова, ПГГПУ, 2020).

Анализ подготовленных студентами симуляторов УФЭ свидетельствует о вполне качественной реализации в их содержании основных дидактических функций КС (*регулятив 11*). В проектах учебных занятий с применением симуляторов студентами ставятся задачи обучения школьников самостоятельному целеполаганию и планированию физического эксперимента, формирования у них экспериментальных умений, освоения способов экспери-

ментального исследования конкретных физических явлений. Реализовано использование симуляторов УФЭ и в качестве тренажеров экспериментальных действий и операций. Организуется работа учащихся с дидактическими материалами модулей, включающих симуляторы УФЭ. В целом содержание проектов учебных занятий, подготовленных студентами, является показателем роста их профессиональной готовности в области применения компьютерных симуляторов УФЭ как важного дополнительного средства подготовки учащихся по методологии физического эксперимента.

Компьютерные симуляции УФЭ вида УКВЭ. Достаточная часть компьютерных симуляций физического эксперимента, созданных студентами, допускает выполнение вычислительного эксперимента (КС «Закон Джоуля-Ленца (рис. 24, с. 272), КС «Подбор шунта к амперметру» (рис. 30 с. 314), КС «Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока» (рис. 65, с. 402)). Это симуляции вида УВЛЭ. Такие КС изначально предназначены для применения в курсе физики *базового уровня* подготовки. По этой причине они отличаются достаточной простотой, поскольку должны быть доступны для понимания и освоения обучающимися. Соответственно под эту адресную группу адаптирован состав методологических функций компьютерных экспериментов, которые выполняются на их основе. К таким функциям относятся:

гносеологические:

1) *прогнозирование*: а) численных характеристик объекта исследования; б) закономерных связей исследуемых явлений; в) характеристик разных режимов поведения исследуемых систем, в том числе технических;

2) *реализация потенциала инструментальной составляющей УКВЭ*: а) достижение результата в ситуациях, когда аналитическое решение поставленной задачи для учащихся невозможно или затруднительно; б) *многовариантность* компьютерного эксперимента (варьирование условий и характеристик исследуемого явления с целью формирования необходимого объема данных для их последующей статистической обработки, систематизации и обобщения); в) высокая информативность (большой объем данных разных видов, обеспечивающих всесторонне исследование явления);

3) *«замещение» физического эксперимента* в случаях, когда провести реальный эксперимент в лаборатории невозможно или затруднительно.

интегрирующие функции:

4) *взаимосвязь КС с физическим экспериментом*: а) как источником количественных данных (значений входных параметров), необходимых для планирования компьютерного эксперимента; б) как источником данных для тестирования модели исследуемого объекта; в) как средством проверки (критерием истинности) гипотез, выдвинутых в ходе моделирования.

5) *взаимосвязь с теоретическим исследованием*: УКВЭ базируется на основе известной теоретической концепции с целью ее исследования (развития, уточнения или получения следствий для последующей их проверки в физическом эксперименте);

регулятивные функции:

б) *ориентация на широкое поле объектов исследования*: а) явлений в динамике их развития в пространстве и времени; б) явлений в их «чистом» виде с точным воспроизведением требуемых условий протекания; в) сложных природных систем и процессов, в том числе стохастических (их внутренней структуры, особенностей эволюции, изменений вследствие внешних воздействий);

7) *наличие инвариантной обобщенной структуры метода как ориентировочной основы деятельности в исследования физических процессов* (регулятив 5).

В составе КС вида УКВЭ, подготовленных студентами для базового профиля подготовки учащихся по физике представлены симуляции физических явлений, математические модели которых доступны пониманию учащихся. Работа школьников с такими КС может быть организована с применением обобщенного плана выполнения компьютерного эксперимента с «готовой» моделью на первом уровне сложности (с. 63). Отдельные КС, созданные студентами, базируются на математических моделях, которые недоступны для анализа учащимися (второй уровень сложности). В этом случае работа с такими моделями существенно упрощается по составу основных процедур. Рассмотрим примеры разработанных студентами компьютерных симуляций УФЭ, на основе которых может быть организована работа учащихся и с симуляторами УФЭ, и соответствующими им моделями для учебного компьютерного эксперимента (первого или второго уровней сложности).

1. КС демонстрационного эксперимента «Опыт Штерна» (10 класс). Данный опыт в школьной практике проводится на механической модели опыта Штерна (рис.117) с целью иллюстрации распределения хаотически движущихся частиц по скорости этого движения и определения значения наиболее вероятной скорости.

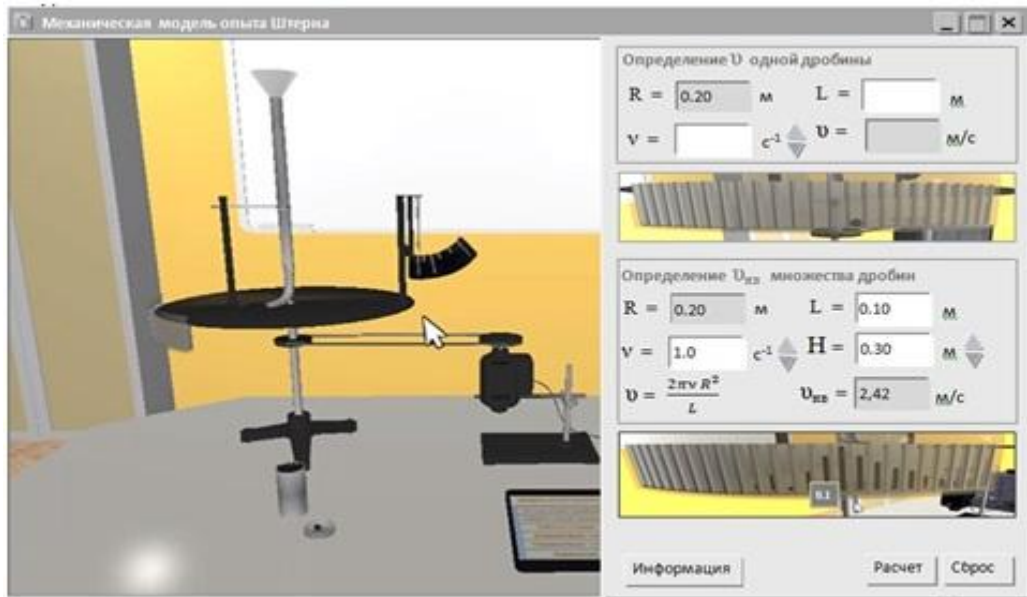


Рис. 117. Реализация механической модели опыта Штерна в графическом редакторе (Blender 3D)

Опыт в его реальной постановке технически непростой, достаточно продолжительный и требует существенных усилий от преподавателя для обеспечения наглядности его результатов. Работа с компьютерной симуляцией данного опыта является в этом случае полезным дополнением. На рисунке 118, а показана КС данного опыта в режиме переключения с интерфейса симулятора на интерфейс УКВЭ. Математическая модель этого компьютерного эксперимента в силу ее сложности с учащимися не обсуждается. Для анализа модели используется обобщенный план УКВЭ (ОП вариант 2, второй уровень сложности, с. 65, 116–118).

В работе с данной моделью учащиеся осваивают способ нахождения скорости одной дробины. Затем определяют наиболее вероятную скорость движения хаотически взаимодействующих между собой множества дробинок, всыпанных в вертикальный желоб при вращении установки (принципиально-го аналога установки опыта Штерна). Случайность распределения дробинок в ячейках дугообразного пластикового блока, расположенного по краю дис-

ка, иллюстрируется в данной модели четырьмя цветными дробинами, которые при повторных вбросах имеют разное местоположение (рис. 118, б).



а)



б)

Рис. 118. КС демонстрационного УФЭ «Механическая модель опыта Штерна»: а) режим УКВЭ, б) демонстрация случайности распределения цветных дробин в ячейках пластикового блока (проект ст. А. Е. Цой, ПГГПУ, 2020)

Учащиеся наблюдают распределение дробин по скорости движения, соответствующие теоретически найденному максвелловскому распределению. В симуляции возможна имитация изменения «внутренней энергии» совокупности вброшенных в желоб и хаотически движущихся дробин за счет изменения высоты вброса. Соответственно меняется значение наиболее вероятной скорости движения частиц такой совокупности. Результаты исследова-

ния (предсказание) в процессе компьютерного эксперимента поведения дробин в данной модели затем могут быть соотнесены с результатами работы реальной механической модели опыта Штерна.

2. *КС демонстрационного эксперимента «Закон Ампера. Определение вектора магнитной индукции поля постоянного магнита»* (11 класс). Внешний вид симулятора данного эксперимента представлен на рисунке 119. Данный симулятор полезен для освоения учащимися способа выявления закономерностей поведения проводника с током в магнитном поле, способа прямого измерения силы Ампера с применением чувствительных весов и способа косвенного измерения величины вектора магнитной индукции поля постоянного магнита. Достаточный диапазон изменяемых параметров модели создают условия для отработки у учащихся данных умений.

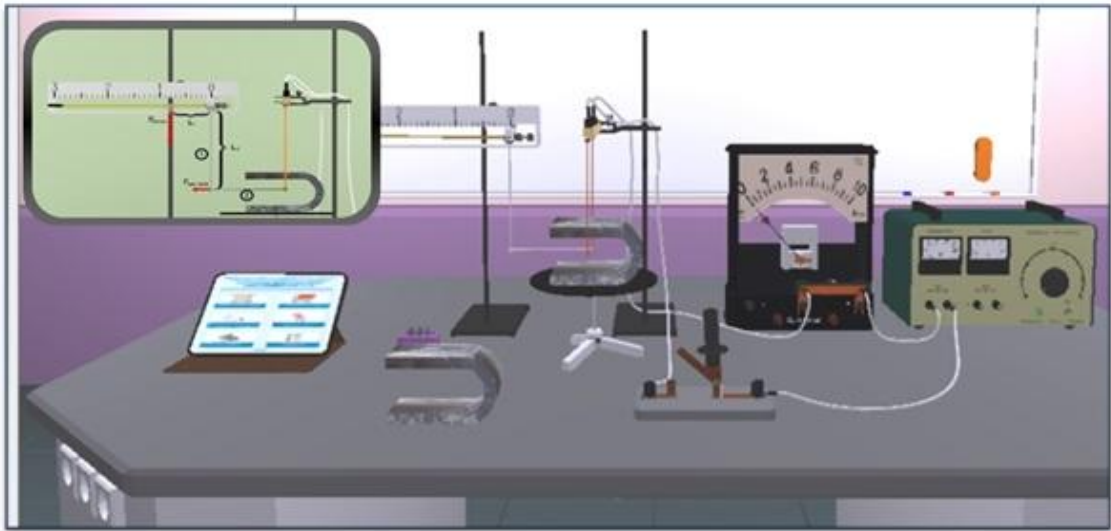


Рис.119. КС демонстрационного эксперимента «Закон Ампера. Определение значения вектора магнитной индукции поля постоянного магнита»: режим симулятора (проект ст. Н. В. Рычагова, ПГГПУ, 2019)

Несмотря на простоту математического выражения закона Ампера для проводника с током магнитном поле (в особенности для случая его перпендикулярного положения относительно силовых линий поля: $F_A = B I \Delta l$) математическая модель этой компьютерной симуляции при ее реализации в режиме симулятора достаточно сложна.

Режим компьютерного эксперимента реализуется студентами, как правило, на основе той же математической модели, что и симулятор. Однако в данном случае для разработки УКВЭ может быть использована простая математическая модель, представленная выражением для расчета силы Ампера

(рис.120). Это обеспечивает возможность самостоятельной разработки учащимися алгоритма решения задачи. Построение такого алгоритма соответствует организации планирования учащимися компьютерного эксперимента. Планирование и выполнение компьютерного эксперимента организуется с применением обобщенного плана УКВЭ (ОП вариант 2, первый уровень сложности, с. 64, с. 116–118). Основное внимание учащихся сосредоточено на содержании и последовательности действий данного плана, накоплении и анализе результатов компьютерного эксперимента. База данных этой модели относительно видов и свойств постоянных магнитов обеспечивает обогащение предметных знаний учащихся по данной теме, их конкретизацию на основе формирования у них представлений о примерных значениях такой характеристики магнитного поля как вектор магнитной индукции для основных видов постоянных магнитов, используемых в технике и быту. Прогнозируемые средствами УКВЭ результаты могут быть проверены в физическом эксперименте. Данный УКВЭ полезен для определения характеристик проектируемой экспериментальной установки для измерения вектора магнитной индукции поля постоянного магнита.

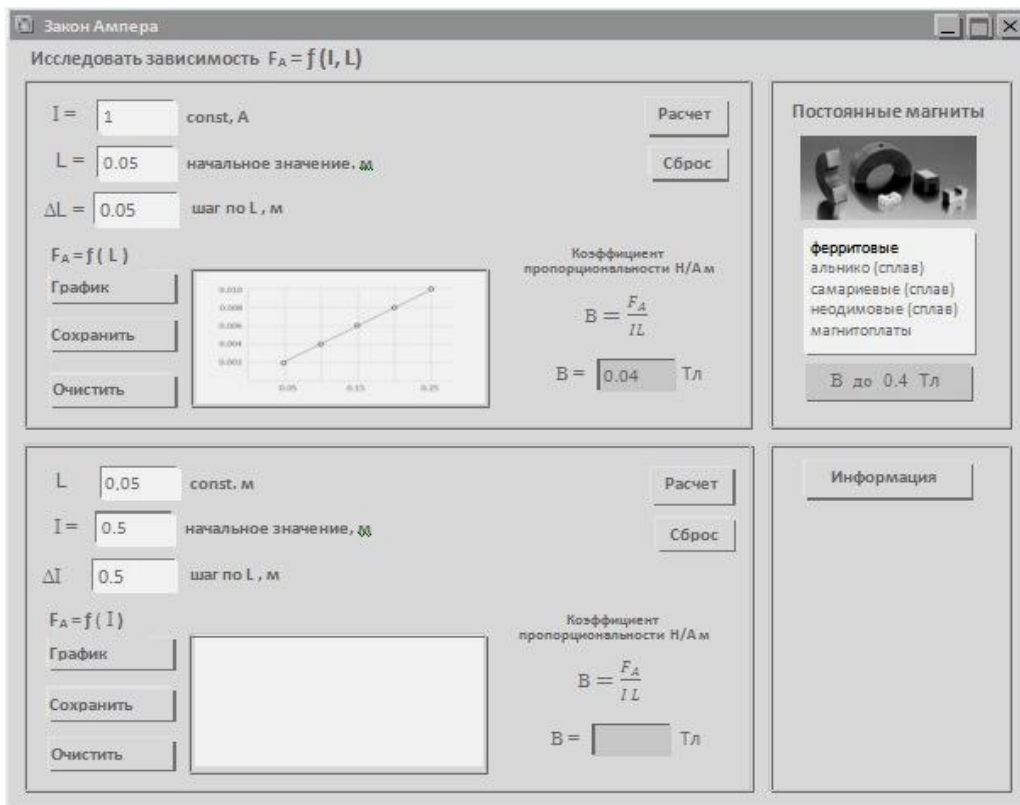
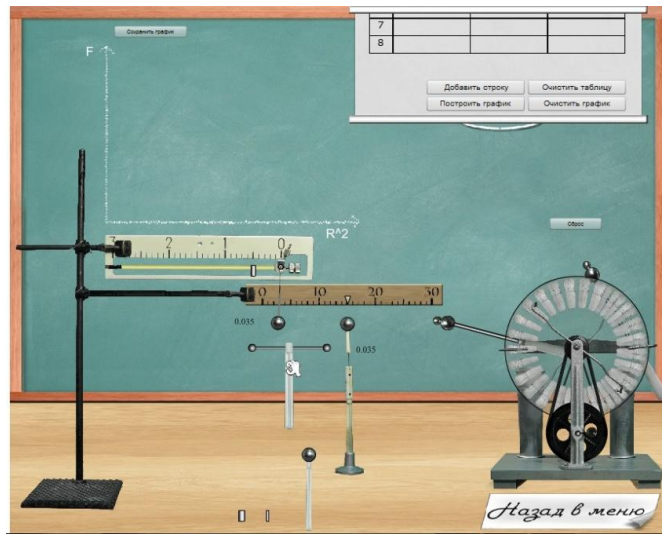
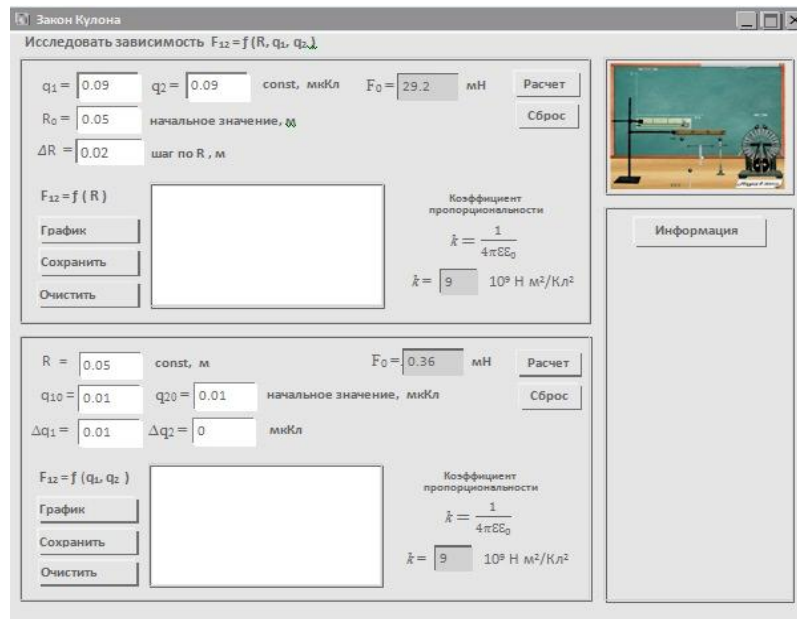


Рис. 120. КС демонстрационного эксперимента «Закон Ампера. Определение значения вектора магнитной индукции поля постоянного магнита»: режим УКВЭ (проект ст. Н. В. Рычагова, ПГПУ, 2019)

3. КС «физического эксперимента» «Закон Кулона». Данная симуляция представляет интерес и как компьютерный симулятор (рис. 121, а), и как основа для выполнения компьютерного эксперимента. Этот демонстрационный опыт затратен по времени и непрост в постановке, поэтому его дополнение средствами компьютерной симуляции весьма целесообразно. Математическая модель, составляющая основу симулятора сложна для учащихся, но УКВЭ (как и в предыдущем случае) может быть построен на основе ее простой версии, поэтому алгоритм вычислительного эксперимента учащиеся могут составить самостоятельно. Интерфейс данного УКВЭ показан на рисунке 121, б.



а)



б)

Рис. 121. КС демонстрационного эксперимента «Закон Кулона»: а) режим симулятора, б) режим УКВЭ (проект ст. А. А. Васильченко, ПГГПУ, 2019)

В процессе выполнения УКВЭ учащиеся могут прогнозировать значения силы электростатического взаимодействия точечных зарядов, анализировать влияние на ее значение величины этих зарядов и расстояния между ними. Кроме этого, на основе информации о технических характеристиках чувствительных весов, возможно определение величин максимального и минимального зарядов, переданных шариками в процессе физического эксперимента. На этой основе у учащихся формируются адекватные представления о реальных значениях величины зарядов наэлектризованных тел.

4. КС физического эксперимента «Второй закон Ньютона (на примере вращательного движения)». Учебная сцена данной КС в режиме компьютерного симулятора УФЭ представлена на рисунке 122. Интерфейс компьютерного эксперимента показан на рисунке 123. В основе УКВЭ простая математическая модель, на основе которой учащиеся могут сами разработать алгоритм решения задачи для данного компьютерного эксперимента. Это простая последовательность операций расчета действующей на тело силы, при которой тело определенной массы будет двигаться по окружности заданного радиуса. С использованием этой модели учащиеся могут прогнозировать различные параметры работы данной демонстрационной установки и оценивать допустимость их различных значений. Вне привязки к данной установке на основе УКВЭ можно прогнозировать значения перегрузки, возникающей при различных параметрах вращательного движения.



Рис. 122. КС демонстрационного эксперимента «Второй закон Ньютона» режим симулятора (проект ст. Ф. С. Матвеева, ПГГПУ, 2020)

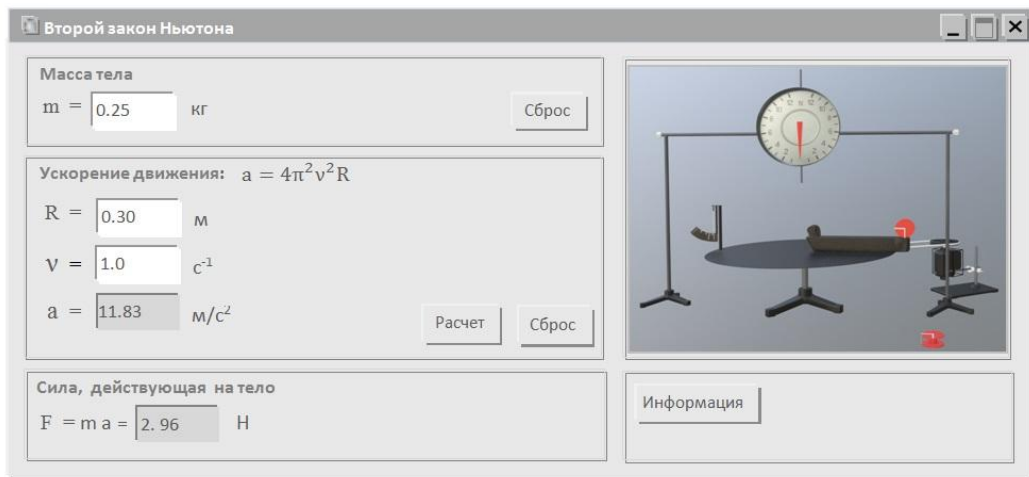


Рис.123. КС демонстрационного эксперимента «Второй закон Ньютона»: режим компьютерного эксперимента (проект ст. Ф.С. Матвеева, ПГГПУ, 2020).

При освоении базового курса физики более сложные по своей математической основе УКВЭ могут быть предложены учащимся, проявляющими интерес и способности к изучению физики и информатики. Работу с такими моделями, а также в отдельных случаях их создание обучающимися учитель организует в рамках внеурочной работы по предмету. Пример такой модели приведен на рисунке 124. Это КС физического эксперимента «Математический маятник». Данная симуляция включает демонстрационный и лабораторный режимы работы. Дополнительно моделируется явление резонанса с иллюстрацией его разрушительного воздействия на систему.

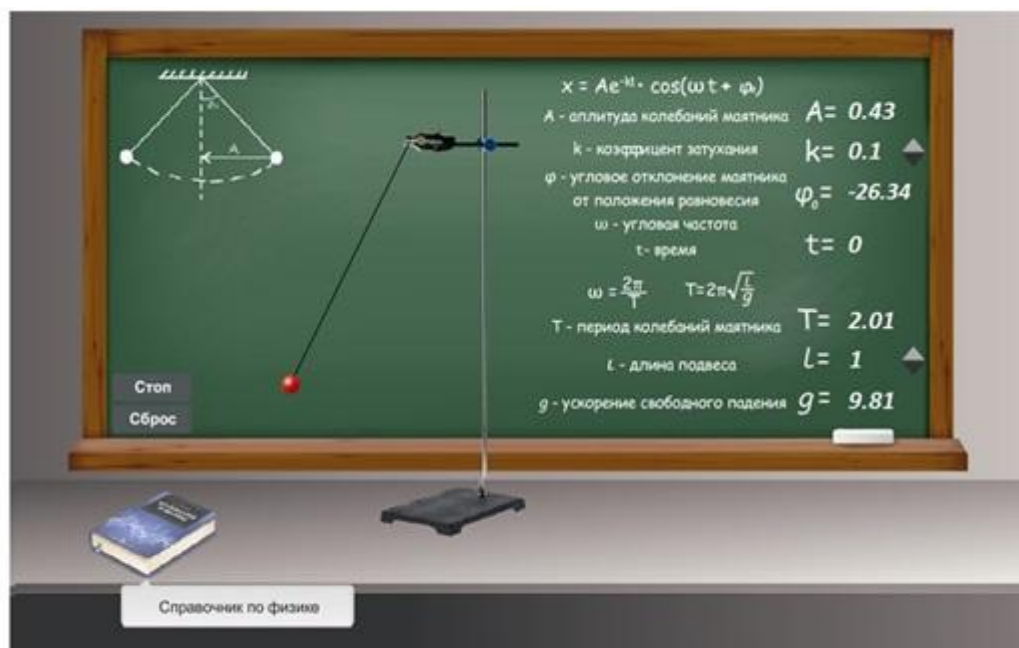


Рис.124. КС демонстрационного эксперимента «Математический маятник»: режим компьютерного эксперимента (проект ст. В. Ю. Караваева, ПГГПУ, 2019) (начало)

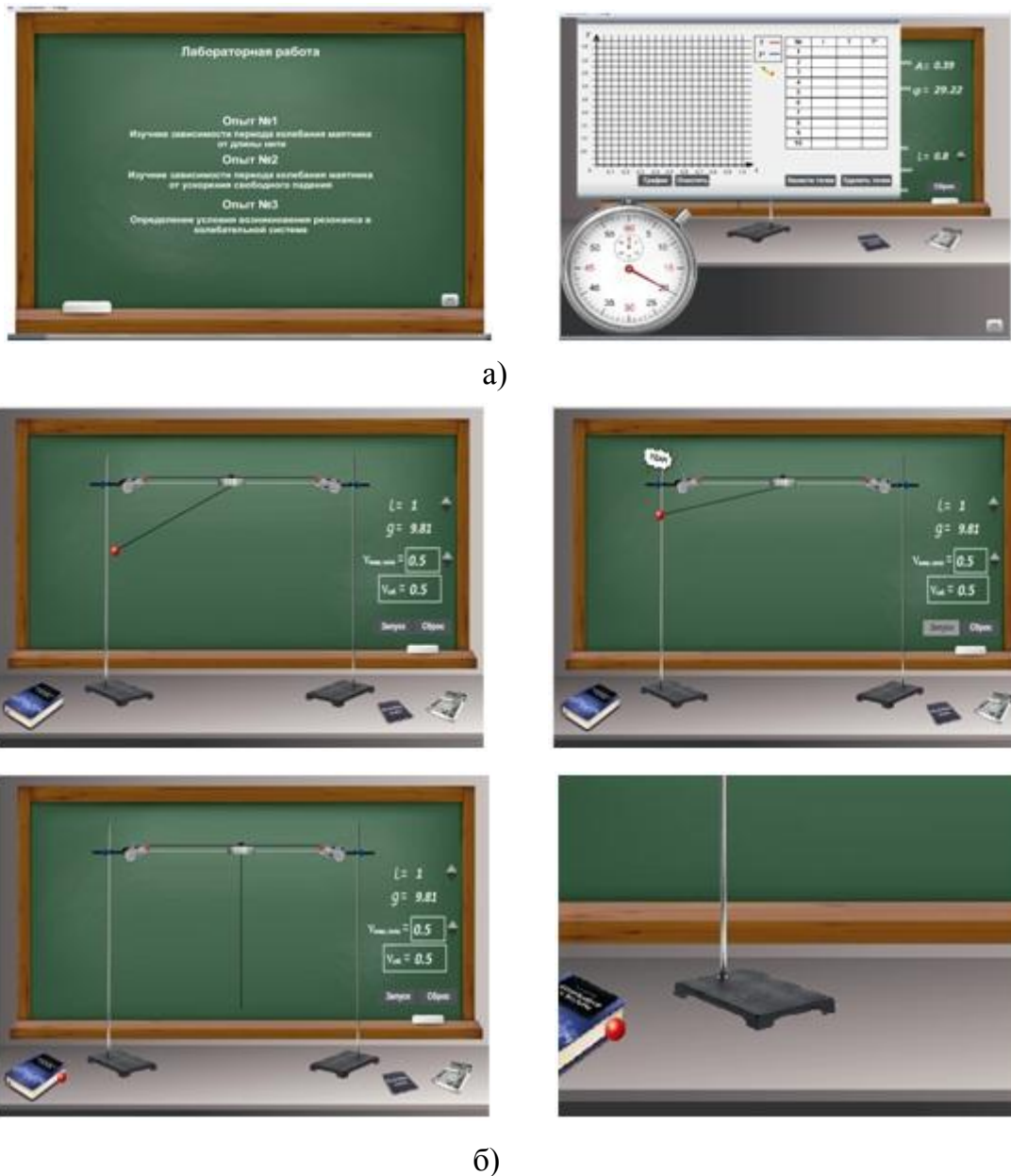


Рис.124. КС «Математический маятник»: а) лабораторный УКВЭ, б) моделирование явления резонанса (проект ст. В. Ю. Каравая, ПГПУ, 2019) (окончание)

Работа с УКВЭ, построенными на простых математических моделях обеспечивает ясное осознание учащимися процедуры проектирования компьютерного эксперимента и понимание его назначения как метода познания. Сложные модели составляют основу для освоения многообразия познавательных и инструментальных функций компьютерного эксперимента как метода познания

Результатом разработки студентами учебных компьютерных симуляций является их подготовка к решению комплекса типовых методических задач, связанных с включением компьютерного моделирования в систему осваи-

ваемых в базовом курсе физики методов учебного познания. К таким методическим задачам относятся:

1) *отбор для учебного процесса по предмету «готовых» КС*: а) обеспечивающих их видовое разнообразие (прил. 1 (1.3), с. 228–229); б) демонстрирующих наиболее ярко их методологические функции; в) обладающих разнообразным и качественным дидактическим функционалом;

2) *включение «готовых» компьютерных симуляций в содержание изложения учебного материала по физике* с целью: а) повышения качества его предъявления (наглядности, информативности) и последующего усвоения за счет реализации *дидактических функций КС* (в частности освоение методологии УФЭ); б) демонстрации разнообразия *методологических функций КС*;

3) *формирование у учащихся начального опыта компьютерного моделирования физических процессов* в рамках основного курса физики: а) демонстрация основных этапов компьютерного моделирования и базовых действий их образующих, формирование на этой основе обобщенных представлений о компьютерном моделировании как методе познания; б) организации учебной деятельности (репродуктивной, учебно-исследовательской), связанной с компьютерным моделированием физических процессов, формирование начальных практических умений в условиях реализации уровневого подхода к организации данной деятельности;

4) *организация проектно-исследовательской деятельности учащихся* в области компьютерного моделирования во внеурочной работе по физике;

5) *разработка дидактических материалов* для самостоятельной работы учащихся, связанной с компьютерным моделированием: а) информационных материалов; б) инструктивных материалов (репродуктивный уровень учебной деятельности); в) дидактических материалов для организации учебно-исследовательской деятельности, включая предметные тематические кейсы учебных задач по компьютерному моделированию.

К ГЛАВЕ 3

3.1. Диагностика уровня профессиональной методологической компетентности будущих учителей области разработки и применения в учебном процессе по физике компьютерных симуляций	454
3.2. Проверка на нормальность распределения исследуемых признаков (данные теста Шапиро-Уилка).....	460

**3.1. ДИАГНОСТИКА УРОВНЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ
КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ
И ПРИМЕНЕНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПО ФИЗИКЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ
СИМУЛЯЦИЙ**

Приведена методика диагностики уровня профессиональной методологической компетенции будущих учителей области разработки и применения в учебном процессе по физике компьютерных симуляций на примере симуляций учебного физического эксперимента

В составе критериев для *поэлементной диагностики* уровня профессиональной методологической компетенции выделены 3 группы.

Первая группа критериев соотнесена с оценкой качества созданного студентом образовательного продукта: цифрового учебного модуля по физике для средней школы, включающего компьютерную симуляцию вида УКСЛЭ и/или УВЛЭ.

Вторая группа критериев соотнесена с уровнем профессиональных методологических знаний студентов и готовности к их применению при проектировании учебных занятий по физике с использованием разработанного цифрового ресурса.

К *третьей группе* относятся критерии, характеризующие уровень самостоятельности продуктивной деятельности студента в создании образовательного продукта.

В *таблице 21* приведены показатели, соответствующие каждому из критериев, указана диагностическая шкала оценки результатов продуктивной проектной деятельности студента.

Группа критериев №1	
КЭ1. Соответствие учебной компьютерной модели ее заявленной фасетной формуле (экспертиза)	оценка соответствия
<i>Показатели</i>	<i>да/нет</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Тип моделируемого эксперимента (абстрактный, конкретный) 2. Вид моделируемого эксперимента (УКСЛЭ, УВЛЭ, КВЭ) 3. Состав реализуемых дидактических функций 4. Состав реализуемых методологических функций КС 5. Уровень интерактивности (условно-пассивный, активно-операционный, активно-действенный, активно-деятельностный) 6. Реалистичность визуализации экспериментальной установки. 7. Тип интерфейса модели (классический, реалистичный; смешанное решение) 8. Состав изменяемых параметров модели (характеристик исследуемых объектов и процессов, оборудования для выполнения эксперимента, внешних воздействий на исследуемое явление) 9. Тип обучающего сценария («жесткий», построенный на основе пошаговых инструктивных указаний; «полужесткий», допускающий некоторую свободу в выборе действий и их последовательности; «свободный», основанный на разнообразии состава и последовательности действий и операций пользователя с объектами модели, в том числе допускающий возможность самостоятельного конструирования установки на основе предложенного оборудования) 10. Технологии управления и поддержки учебной деятельности: меню, навигация, всплывающие подсказки, голосовое сопровождение, видеоинструкция, цифровые дидактические материалы, наличие инструментов учебной деятельности для обработки информации (автоматизация заполнения таблиц, построение графиков, «письменные принадлежности», калькулятор, виртуальный планшет и пр.) 11. Уровень работы пользователя с моделью (работа с «готовой» моделью; работа с моделью, созданной обучающимся из базовых элементов на основе учебного конструктора; исследование модели, самостоятельно разработанной учащимся с использованием инструментальной среды или языков программирования) 12. Уровень сложности учебного материала и заданий, составляющих основу работы с моделью (общеобразовательный, углубленный) 13. Принцип формирования учебного контента модели (поэлементный, связанный с реализацией отдельных этапов цикла обучения (предъявление материала, его отработка, контроль/самоконтроль усвоения); модульный, обеспечивающий полный цикл обучения) 14. Способы и технологии графического представления: 2D, 3D, 3D (AR), 3D (VR) и 3D (VR)-СТЕРЕО, 15. Языки и технологии программирования (открытые профессиональные инструментальные среды и приложения, веб-сервисы; специальные учебные инструментальные среды и приложения и веб-сервисы); 16. Версии модели: локальная, сетевая, мобильная, универсальная 	
<p><i>Уровень соответствия:</i> менее 60% – 1 балл; 60–79% – 2 балла; 80–100 % – 3 балла <i>Максимальный балл по критерию – 3 Весовой коэффициент – 3</i> <i>Итого: max – 9 min – 3</i></p>	

Кэ2. Нучно-методический уровень содержания учебной компьютерной симуляции и цифровых дидактических материалов для ее сопровождения (<i>экспертиза</i>)	уровень проявления показателя
<i>Показатели</i>	<i>повышенный / достаточный / начальный</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Научно-методическая грамотность содержания учебного материала, предъявляемого на основе модели. 2. Реалистичность визуализации экспериментальной установки (исследуемого объекта (ов), технических устройств, приборов и инструментов). 3. Реалистичность моделинга функционала установки и исследуемого в опыте физического явления. 4. Визуализация «механизма» протекания явления, внутреннего устройства и принципа работы физических приборов экспериментальной установки. 5. Учет структуры и содержания учебной деятельности, для сопровождения которой создана модель. Разработка интерактивного функционала компьютерной модели и сопровождающих ее дидактических материалов на основе обобщенных планов соответствующих видов познавательной и практической деятельности (физического эксперимента, компьютерного эксперимента), их основных действий и операций. 6. Квазиреалистичность манипуляций учащегося с элементами экспериментальной установки и исследуемыми физическими объектами. 7. Научно-методический уровень содержания цифровых дидактических материалов для работы с моделью. 8. Видовое разнообразие ДМ (реализация принципа избыточности) как условия дифференцированного и индивидуального подходов в обучении. 9. Реализация модульного принципа разработки ДМ, обеспечивающего полный цикл обучения (предъявление учебной информации, ее отработка и организация контроля/самоконтроля результатов работы). 	
<p><i>Бальная оценка:</i> низкий – 1 балл; достаточный – 2 балла; повышенный – 3 балла <i>Максимальный балл по критерию – 27. Весовой коэффициент – 1,5.</i> <i>Итого:</i> max – 40,5 min – 13,5</p>	
Кэ3. Качество пользовательского интерфейса учебной модели, его соответствие основными правилами юзабилити (<i>экспертиза</i>)	уровень проявления показателя
<i>Показатели</i>	<i>повышенный / достаточный / начальный</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Надёжность:</i> способность продукта противостоять сбоям, совершённым по вине пользователей. 2. <i>Единообразие:</i> использование единой цветовой и шрифтовой схем, однородных компонентов, интерфейсов и принципов для осуществления одинаковых или сходных функций. 3. <i>Очевидность состояния системы:</i> возможность индикации этапа работы программы посредством предлагаемых механизмов обратной связи. 4. <i>Когнитивная простота:</i> достаточная очевидность (предсказуемость) манипуляций с элементами интерфейса, минимизация операций для получения результата, однородность интерфейса (степень однообразия действий). 5. <i>Эргономическая простота:</i> лёгкость в освоении и запоминании операций, необходимых для работы с интерфейсом (манипуляций его элементами). 	

<p>6. <i>Поисковая доступность</i>: простота в поиске необходимой информации для работы с моделью, структурированность текстового контента, использование слов, понятных целевой группе пользователей.</p> <p>7. <i>Полнота контента</i>: достаточность информации для принятия решения, её корректность.</p> <p>8. <i>Поддержка</i>: вариативность и качество работы различных способов помощи пользователю, в том числе контекстной, встроенной в интерфейс; наличие подробного руководства к деятельности.</p> <p>9. <i>Функциональная удовлетворенность</i>: соответствие функционала приложения нуждам пользователей, его достаточность для решения поставленных задач.</p> <p>10. <i>Эмоциональность</i>: наличие антропоморфных качеств в оформлении интерфейса, наличия персонажей, неформальных ответов и реакций на пользовательские действия; эмоциональное состояние пользователя при работе с интерфейсом, в том числе за счет использования элементов иммерсивных технологий в его проектировании.</p> <p>11. <i>Язык приложения</i>: стилистика текстов и использованных фраз, наличие словаря (при необходимости), степень соответствия ожиданиям целевой группы пользователей.</p> <p>12. <i>Выгода от использования</i>: степень уникальности, актуальности и полезность цифрового ресурса, форма предъявления данной информации пользователю (на основе аннотации приложения и др.).</p> <p>13. <i>Общественное окружение</i>: наличие у приложения неформальных сообществ в социальных сетях и на иных подобных ресурсах для продвижения продукта (при создании веб-версии ресурса).</p>	
<p><i>Бальная оценка</i>: начальный – 1 балл; достаточный – 2 балла; повышенный – 3 балла <i>Максимальный балл по критерию</i> – 39, <i>минимальный балл</i> – 13</p>	
К_{Э4}. Качество разработки веб-версии цифрового учебного модуля (экспертиза)	уровень проявления показателя
<i>Показатели</i>	<i>повышенный / достаточный / начальный</i>
<p>1. Дизайн веб-ресурса (уникальность графического решения)</p> <p>2. Удобство пользовательского интерфейса (структура, навигация, функционал)</p> <p>3. Оптимизация графики, ее корректное отображение при разных пропорциях экранов</p> <p>4. Включение интерактивных элементов, их целесообразность</p> <p>5. Наличие, целесообразность, научно-методическая грамотность содержания дополнительного контента в структуре веб-версии цифрового модуля.</p> <p>6. Интеграция с образовательными веб-сервисами, ее цели и содержание.</p> <p>7. Используемые технологии разработки: с применением конструкторов, шаблонов, систем управления контентом (CMS) или языков веб-программирования.</p> <p><i>Дополнительно:</i></p> <p>8. Доступность (кроссбраузерность), работа веб-ресурса на основных типах устройств.</p> <p>9. Возможность простого наращивания контента.</p>	
<p><i>Бальная оценка</i>: начальный – 1 балл; достаточный – 2 балла; повышенный – 3 балла <i>Максимальный балл по критерию</i> – 27, <i>минимальный балл</i> – 9</p>	
<p>По группе критериев № 1: максимальный балл – 115,5, минимальный балл – 38,5</p>	

Группа критериев № 2	
КЭ5. Уровень усвоения системы методологического знания (тест)	уровень проявления показателя
<i>Показатели</i>	<i>верно / частично верно / неверно</i>
<p><i>Вопросы теста</i> с выбором ответа и ответами открытого типа по методологии физического и компьютерного экспериментов, методологии проектирования педагогической практики, связанной с разработкой и применением компьютерных моделей в обучении физике как метода познания (на основе содержания методологических регулятивов 1–15) (30 вопросов)</p>	
<p><i>Бальная оценка:</i> неверно – 0 баллов; частично верно – 0,5 балла; верно – 1 балл <i>Максимальный балл по критерию – 30, минимальный балл – 0</i></p>	
КЭ6. Качество проекта учебного занятия с применением разработанного цифрового модуля (базовый уровень освоения курса физики средней школы) (экспертиза)	уровень проявления показателя
<i>Показатели</i>	<i>повышенный / достаточный / начальный</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Формулировка целей учебного занятия, включающих освоение учащимися методологии физического и компьютерного экспериментов. 2. Рациональность в определении места компьютерного и физического экспериментов в структуре учебного занятия, их взаимосвязи с содержанием учебного материала. 3. Отражение в содержании учебного материала вопросов методологии физического и компьютерного экспериментов. 4. Направленность содержания учебной деятельности, методов и средств обучения на формирование у учащихся умений и навыков применения данных методов познания в изучении физических явлений 5. Организация самостоятельной работы учащихся с дидактическими материалами цифрового модуля, разнообразие ее методов и приемов. 6. Использование возможностей домашней самостоятельной работы с элементами цифрового модуля (его локальной или веб-версии). 	
<p><i>Бальная оценка:</i> начальный – 1 балл; достаточный – 2 балла; повышенный – 3 балла <i>Максимальный балл по критерию – 18, минимальный балл – 6.</i></p>	
КЭ7. Формы и качество результатов апробации проекта (экспертиза)	уровень проявления показателя
<i>Показатели</i>	<i>повышенный / достаточный / начальный</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Подготовка аннотации и презентации проекта (выступление на научно-методическом семинаре в вузе). 2. Написание тезисов, статьи. 3. Организация учебного занятия в средней школе с применением цифрового модуля. 4. Участие в профессиональных конкурсах. 	
<p><i>Бальная оценка:</i> начальный – 1 балл; достаточный – 2 балла; повышенный – 3 балла <i>Максимальный балл по критерию – 12, минимальный балл – 1.</i></p>	

По группе критериев № 2: максимальный балл – 60, минимальный балл – 7	
Группа критериев № 3	
К_{э8}. Самостоятельность в разработке концептуальной части проекта (<i>экспертиза</i>)	уровень проявления показателя
<i>Показатели</i>	<i>повышенный / достаточный / начальный</i>
Самостоятельность выполнения концептуальных продуктивных актов (<i>заданий К6–К13</i>)	
<i>Бальная оценка:</i> начальный – 1 балл; достаточный – 2 балла; повышенный – 3 балла <i>Максимальный балл по критерию – 24, минимальный балл – 8</i>	
К_{э9}. Самостоятельность в освоении и применении компьютерных технологий разработки учебной компьютерной симулятора УФЭ и цифровых дидактических материалов сопровождения	уровень проявления показателя
<i>Показатели</i>	<i>повышенный / достаточный низкий</i>
Самостоятельность выполнения процессуальных продуктивных актов (<i>заданий П1–П7</i>)	
<i>Бальная оценка:</i> начальный – 1 балл; достаточный – 2 балла; повышенный – 3 балла <i>Максимальный балл по критерию – 21, минимальный балл – 7</i>	
По группе критериев № 3: максимальный балл – 45, минимальный балл – 15	
Итоговый балл: максимальный – 220,5, минимальный балл – 56, средний балл – 134	

3.2. ПРОВЕРКА НА НОРМАЛЬНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИССЛЕДУЕМЫХ ПРИЗНАКОВ

(данные теста Шапиро-Уилка)

Проверка на нормальность распределения исследуемых признаков в группах 1, 2 и 3 осуществлялась с применением критерия Шапиро-Уилка [409, с. 238–241]. Ниже в *таблице 22* приведены данные теста Шапиро-Уилка, характеризующие нормальность исследуемых распределений признаков для каждой группы испытуемых, что соответствует принятию гипотезы H_0 : *исследуемый признак распределен по нормальному закону.*

Таблица 22

	$W_{эмп}$	$W_{кр}$ (для $p = 0,05$)	Рассчитанное значение p Шапиро-Уилка	Сравнение $W_{эмп}$ и $W_{кр}$	Принимаемая гипотеза
<i>Распределение результатов измерения уровня методологических ЗУН</i> До обучения					
Группа 1	0,948300	0,933792	0,128942	$W_{эмп} > W_{кр}$	H_0
Группа 2	0,949552	0,932092	0,151725	$W_{эмп} > W_{кр}$	H_0
После обучения					
Группа 1	0,943971	0,933792	0,097087	$W_{эмп} > W_{кр}$	H_0
Группа 2	0,940650	0,932092	0,086005	$W_{эмп} > W_{кр}$	H_0
<i>Распределение результатов измерения уровня ПМК</i> После обучения					
Группа 1	0,969872	0,933792	0,495869	$W_{эмп} > W_{кр}$	H_0
Группа 2	0,972934	0,932092	0,602976	$W_{эмп} > W_{кр}$	H_0
Группа 3	0,969104	0,939778	0,401561	$W_{эмп} > W_{кр}$	H_0