

# ЗАМЕНА РЕАЛЬНОГО ХИМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ВИРТУАЛЬНЫМ: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

**Жилин Д.М.**

*ООО «Научные развлечения», Москва*

## **Определения и постановка задачи**

В последние десять лет разработано много компьютерных программ, призванных заменить реальный химический эксперимент. Эксперимент, в котором экспериментатор оказывает воздействие на компьютерную программу (а не на реальный объект) и получает ответ от компьютерной программы (а не от реальных объектов), называется «виртуальным» (virtual), «имитационным» (imitated) или «симуляционным» (simulated). Принципиально, что в виртуальных экспериментах объект представляет собой только программный код. Если экспериментатор использует компьютер для влияния на реальный объект и получения от него обратной связи, то такой эксперимент мы будем относить к реальным, даже если сам объект находится далеко от студента. В последнем случае эксперименты называют удалёнными (remote) или онлайн-экспериментами (online). Виртуальный эксперимент может реализовываться на локальном компьютере, а может – на удалённом. Если он реализуется на удалённом компьютере, то экспериментаторы имеют возможность взаимодействовать друг с другом, учитель – контролировать их действия. Такую систему называют «виртуальная лаборатория» (virtual lab) [1].

Помимо виртуальных лабораторий используются виртуальные миры. Это многопользовательские компьютерные игры, в которых

ставятся учебные задачи [2]. В образовательных целях обычно используют игры, которые позволяют пользователям создавать свои задачи и локации, чаще всего – виртуальный мир Second Life («Вторая жизнь»). Виртуальные миры позволяют организовывать взаимодействие между участниками. В них пользователь представлен виртуальной личностью – аватаром. Аватар может двигаться по виртуальному миру, взаимодействовать с другими аватарами и с цифровыми объектами. Чаще всего виртуальные миры используются для изучения языков. Есть пример, когда виртуальные миры использовались для обучения здоровому питанию: пользователь должен был выбирать еду в ресторанах виртуального мира и получал те или иные баллы за тот или иной выбор [3].

Польза виртуальных экспериментов обосновывается:

- меньшими затратами на проведение виртуальных экспериментов (не требуется оборудование, место и персонал);
- доступностью виртуального эксперимента для дистанционного обучения и инвалидов, без ограничения по времени;
- безопасностью виртуального химического эксперимента по сравнению с реальным.

По поводу адекватности такой замены, особенно в химии, есть много вопросов. В первую очередь, вопросы вызывает само соответствие результатов виртуального эксперимента реальному [4]. Например, в 2012 г. на Международной конференции по химическому образованию William Vining (США) «симулировал» зависимость массы  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  от объема  $\text{NaOH}$  при добавлении его к раствору  $\text{FeCl}_3$ , и у него получилась линейная зависимость. Между тем, как показывает опыт, если мы в реальности будем медленно и при перемешивании добавлять раствор  $\text{NaOH}$  к раствору  $\text{FeCl}_3$ , то раствор будет коричневеть, но осадок не будет выпадать вплоть до соотношения  $\text{NaOH} : \text{FeCl}_3 \approx 2:1$ . При этом образуются различные основные соли железа с многоядерными катионами (типа  $\text{Fe}_3\text{O}^{7+}$ ). То есть «симуляция» не имела к реальности никакого отношения.

Вызывают вопросы затраты на виртуальные эксперименты. Действительно, они не требуют лабораторий, реактивов и преподавателей, но затраты на написание программного кода могут существенно превысить затраты на реальный эксперимент, особенно если у виртуальной лаборатории мало пользователей [5]. Ситуацию усугубляют регулярные, часто непредсказуемые, смены операционных систем, стандартов и прекращение поддержки используемых решений. В частности, целый ряд виртуальных лабораторий базируется на технологии AdobeFlashPlayer, поддержка которой полностью прекратится с 2020 года.

Однако в этой статье мы ограничимся дидактическими результатами замены реальных инструментов виртуальными. То есть, в каких случаях такая замена способствует или препятствует усвоению химических знаний и обретению навыков обращения с материалами и веществами; развитию метапредметных умений и компетенций; формированию позитивного отношения к химии и учёбе вообще.

### **Теоретические соображения**

Теоретические работы, касающиеся замены реальных лабораторий виртуальными, появились раньше практических исследований результатов такой замены. В частности, авторы довольно старого обзора [5] справедливо подчёркивают многие недостатки лабораторных экспериментов (большие затраты времени на понимание простых концепций, иллюстративная роль эксперимента, слабое понимание студентами происходящего и т.д.). В ссылках критикуется идея самостоятельного переоткрытия понятий и предполагается, что инструктор введёт эти понятия гораздо эффективнее. Также отмечается, что осмысленное проведение реального эксперимента требует основательной подготовки: студент должен знать, на что смотреть. Детали эксперимента отвлекают студентов от осмысления происходящего. Авторы отмечают, что прямая имитация реальных экспериментов не решает этих проблем. Те же авторы отмечают важность эксперимента для освоения научного метода, навыков работы руками и тонкостей раз-

личных явлений. На этом основании авторы обращают внимание на роль дизайнера инструкций (instructional designer), понимающего цели обучения, в разработке виртуальных экспериментов.

Теоретически можно говорить о следующих ситуациях, в которых реальный эксперимент имеет явное преимущество перед виртуальным.

- Получение и исправление реальных ошибок измерений и расхождений между теорией и экспериментом [6], имитация которых есть нетривиальная задача [7, 8].
- Работы, требующие формирования чисто процедурных навыков (например, навыков постановки катетера [9]).
- Формирование чувственных навыков (haptic skills) [10].
- Обучение методом проб и ошибок [11].

Явные преимущества виртуального эксперимента проявляются в следующих случаях.

- Когда оборудование для реального эксперимента слишком дорого (например, при обучении технологов производств на «цифровых двойниках»). При этом следует иметь в виду, что программы для виртуального эксперимента тоже дороги, поэтому заменять ими примитивное школьное оборудование вряд ли имеет смысл.
- Когда нужно «остановить мир», чтобы разобраться в происходящем [12].
- Когда нужно провести эксперименты над ненаблюдаемыми явлениями (например, на микроуровне) [1].
- Когда нужно изучить поведение слишком сложного объекта (например, целой экосистемы) [13]. В этом случае используются математические модели экономических или экосистем [5]. Такие виртуальные эксперименты часто называют имитационными играми, и взаимодействие человека с компьютером может быть даже чисто текстовым. В России имитационные игры («Цена нефти», «Всемирное рыболовство» и т.п.), известны с начала 1990-х годов [14].

Можно сказать, что теоретически реальный эксперимент всё больше и больше проводится с компьютером в качестве посредника. Такие эксперименты размывают грань между реальным и виртуальным миром, по крайней мере, в восприятии студентов.

### **Практические результаты: межпредметные обзоры**

По практическому влиянию виртуальных экспериментов на достижения учащихся опубликован ряд обзоров [1, 2, 15, 16] и один мета-анализ [17]. Имеется также короткий (29 работ) обзор [18], посвящённый использованию виртуальных лабораторий в обучении биологии, биохимии и химии. При этом обзор [2] только констатирует тенденции в развитии виртуальных лабораторий и виртуальных миров без оценки их эффективности.

С самого начала нужно отметить, что виртуальные лаборатории используются в первую очередь для обучения робототехнике, физике, экологии и инженерному делу. Исторически виртуальные эксперименты начали использовать в 1960-х годах для обучения ядерных инженеров [10]. Они базировались на математических моделях ядерных реакторов. Старые виртуальные лаборатории, описанные в обзоре [5], касались планирования эксперимента и работы с информацией, причём некоторые из них были чисто текстовыми. Практически все лаборатории из того обзора представляли собой так или иначе визуализированные математические модели экосистем или человеческого организма в контексте токсикологии. В обзор [15] никаких виртуальных экспериментов по химии не попало вовсе. Также не описано использование виртуальных миров для обучения химии [2]. В свежем обзоре [1] виртуальные лаборатории используются в первую очередь при обучении инженерии систем управления, электротехнике и электронике, робототехнике, хотя имеется и ряд работ по химии. Около половины работ в обзоре [17] касается естественных наук без более подробного разделения, остальные – математики и медицины.

Практически все виртуальные эксперименты использовались в высшей, а не в средней школе. Мета-анализ [17] включает некоторое

количество работ, посвящённых старшему классу американских школ (К-12). Наиболее полно виртуальные эксперименты в средней школе представлены в обзоре [18].

Обзоры и отдельные работы отмечают серьёзное влияние критериев оценки достижений на результаты сравнения виртуальных и реальных экспериментов. Так, при исследовании имитационных экспериментов испытуемые показывали лучшие достижения, если их проверяли немедленно. А при отложенной проверке разницы не наблюдалось [17]. Использование чисто виртуального эксперимента при обучении выявлению уникальных последовательностей в ДНК человека привело, с одной стороны, к небольшому росту среднего балла на экзамене, но с другой стороны – к значительному снижению числа студентов, проваливших экзамен [19].

Вообще, говорить о влиянии замены реальных экспериментов виртуальными имеет смысл, имея в виду образовательные цели. Эти цели описаны в разных таксономиях. Наиболее известна из них таксономия Блума, которая, однако, не содержит никаких целей, связанных с практическими навыками. Существует ряд таксономий, включающих практические навыки, среди которых таксономия АВЕТ (Accreditation Board for Engineering and Technology) [20]. Она выделяет следующие образовательные цели:

- концептуальное понимание (умение иллюстрировать понятия и принципы);
- навыки дизайна (способность разрабатывать продукт и исследовать явления);
- социальные навыки (способность взаимодействовать с другими людьми и организациями для достижения целей);
- профессиональные навыки (умение проводить те или иные процедуры, а также применять знания на практике).

Как показал обзор [15], статьи по лабораторному эксперименту в большей мере рассматривают навыки дизайна и социальные навыки, чем статьи по виртуальному эксперименту. Данных по влиянию виртуальных лабораторий на навыки дизайна на момент составления это-

го обзора было недостаточно. От себя добавим, что статьи по виртуальному эксперименту вовсе не рассматривают такой важный результат, как развитие критического мышления и исследовательского поведения.

По результатам обзоров можно отметить очень немного однозначных выводов о собственно результатах сравнения виртуальных и реальных лабораторий. Сравнение имитационных экспериментов с реальными, приведенное в обзоре [15], показало положительное отношение студентов к имитационным и интегрированным экспериментам. Из 59 работ, рассмотренных в обзоре [16], в 36 показано, что достижения учащихся оказались лучше при использовании виртуальных и удалённых экспериментов (к сожалению, в этой работе они не разделяются), в 14 – что различия нет и в 9 – что традиционные эксперименты оказались эффективнее. При этом подавляющее большинство работ касалось обретения знаний и восприятия. В 40% рассмотренных работ достижения оценивались при помощи тестов и только в 6% – при помощи практических экзаменов. Аналогично, большая часть работ, приведенных в обзоре [18] показала примерно равный эффект виртуальных и реальных лабораторий, но, опять-таки, в них оценивались только полученные знания. Мета-анализ [17] показал, что виртуальные миры достоверно улучшали знания, но не улучшали навыки.

Все авторы сходятся на том, что полная замена реального эксперимента виртуальным не имеет смысла. Авторы [1, 18] приходят к довольно очевидному выводу, что виртуальный и реальный эксперимент нужно комбинировать. Достижения студентов, работавших в обоих режимах, превосходили достижения студентов, работавших в каком-то одном режиме [17]. Такой же результат получили авторы, создавшие систему TriLab, позволявшую студентам-инженерам проводить эксперименты в трёх режимах: реальном, удалённом и виртуальном [10, 21]. В работе [22] студенты, изучавшие биологию с помощью обеих лабораторий, также показали лучшие результаты, чем изучавшие с помощью какой-то одной. Это обосновывается простым фактом: для успешного обучения эксперименты нужно повторять по несколько раз

[23, 24]. Один из этих экспериментов должен быть реальным, а остальные могут быть виртуальными. Виртуальный эксперимент можно также использовать для решения задач к курсу [25]: для этого ставятся задачи типа «как это решить экспериментально», и студенты в качестве ответа должны выполнить виртуальный эксперимент.

Относительно порядка комбинирования виртуальной и реальной лаборатории согласия у специалистов нет. Авторы [10, 15, 19] сходятся на том, что имеет смысл начинать с реальных экспериментов, а потом использовать виртуальные для повторения и уточнения результатов. Однако из обзора [18] и статьи [21] следует обратное предложение – использовать виртуальный эксперимент для подготовки к реальному.

Интересно, что в значительной части работ, представленных в обзоре [18], студенты предпочитали виртуальные лаборатории реальным. Само по себе это не значит ничего, ибо может быть обусловлено самыми разными факторами (вплоть до кошмарного эстетического вида давно не ремонтировавшихся реальных лабораторий или духоты в них), но при обсуждении виртуальных и реальных лабораторий в преподавании химии на этот вопрос нужно будет обратить пристальное внимание.

### **Практические результаты в обучении химии**

Рассмотренные выше межпредметные обзоры дают мало понимания о границах применимости виртуальных экспериментов по химии в средней школе. Чтобы осветить этот вопрос, нам придётся сделать краткий обзор оригинальных статей.

Разработчики одной из первых описанных виртуальных химических лабораторий [4] обратились к органическому синтезу и анализу продуктов. Студентам необходимо было выбрать тип реакции из 17 предложенных, а затем для любой из них выбрать один реагент из нескольких. Далее следует собрать виртуальный аппарат для проведения реакции и найти дополнительные реагенты для неё. После этого студенты виртуально запускают реакцию, и программа показывает ре-



зультаты тонкослойной хроматографии реакционной смеси. Когда студенты останавливают реакцию, программа представляет им ИК- и ЯМР-спектры полученных продуктов или смесей. По данным спектров студенты должны предложить структуру продукта. Всевозможные сочетания предложенных реагентов и условий дают более 2 миллионов возможных результатов. Очень много вопросов уделяется стерео- и региоселективности реакций и другим тонкостям. Однако очевидно, что никто не проверял все 2 миллиона возможных условий на практике. Таким образом, эту виртуальную лабораторию можно считать расширенным вариантом бумажного задачника на тему «предложите условия синтеза» или «предскажите результат реакции». Параллельно виртуальным студентам продолжали проводить реальные лабораторные работы. Результаты оказались весьма интересными: чем лучше студенты относились к виртуальным лабораториям, тем выше была вероятность получить высокие баллы. Что здесь причина, а что следствие – непонятно. Также студенты проходили личностный тест HDBI (Herrmann Brain Dominance Instrument), который позволяет разделить церебральный и лимбический стиль мышления. Оказалось, что студенты с лимбическим типом мышления получали более высокие баллы на экзамене, а с церебральным типом – могли грамотно выбрать реагенты. Учитывая, что люди с лимбическим типом мышления предпочитают структурированную работу, а с церебральным – могут легко переключаться с фактов на эксперименты, можно задать вопрос, что вообще оценивают экзамены. В любом случае эта работа показывает значимость личностных черт в восприятии виртуальных экспериментов.

Авторы работы [26] сопоставляли успехи учащихся старшего класса средней школы и их отношение к занятиям при проведении виртуальных и реальных экспериментов. Сравнивались две группы старшеклассников, проводивших две работы. Работу «эмпирическая формула кристаллогидрата» первая группа проводила виртуально, вторая – реально. Работу «стехиометрия по потере углекислого газа» группы проводили наоборот. Оценивалась лабораторная техника, спо-

способность интерпретировать собранные данные и предлагать гипотезы, а также делать предсказания в области стехиометрии. В первой работе значимых различий не было, во второй «виртуальные» студенты показали заметно лучшие результаты. Студенты отмечали большую дружелюбность виртуальной лаборатории к пользователю и меньшие ограничения виртуальной среды по сравнению с реальной. С другой стороны, для решения второй задачи нужно было повторить одну и ту же последовательность действий семь раз и каждый раз сделать пять записей и обчислить их. Немудрено, что такой объём рутинной работы отвлек их от сути.

В исследовании [27] сравнивали школьников К-12, выполнявших работу по кинетике реакции магния с соляной кислотой. Виртуальный эксперимент проводился на базе виртуального мира *Second Life*, который имитировал реальный. Принципиальной разницы между отчетами старшеклассников не было. Надо заметить, что эта работа также довольно рутинная. Аналогичный результат получили те же авторы в том же виртуальном мире при решении задач на титрование и определение молярной массы бутана [28].

Авторы [29] использовали 3D виртуальный тренажёр для обучения учащихся (16—19 лет) стандартизации раствора NaOH. Тренажёр имитировал лабораторию со шкафами и склянками. При этом авторы предлагали студентам пошаговые инструкции на экране, которые появлялись по мере выполнения работы, причём программа сама распознавала выполнение студентом той или иной виртуальной операции. Авторы сравнивали три группы: (1) получавших пошаговые инструкции в виртуальной лаборатории; (2) не получавших пошаговые инструкции в виртуальной лаборатории; (3) получавшие инструкции от учителя в реальной лаборатории (без тренировки). Кроме того, группы (1) и (2) получали обратную связь (информацию о свойствах веществ и аппаратов в виде всплывающих подсказок). После обучения все три группы приступали к реальному эксперименту, где оценивалось затраченное ими время и число ошибок (неправильных и ненужных действий). Обе виртуальные группы по обоим критериям статистиче-

ски достоверно выступили лучше. При этом достоверной разницы между ними не было. Казалось бы, результаты данной работы говорят в пользу виртуальных лабораторий. Однако, по сути, в ней сравнивались группы, получившие предварительную тренировку (хотя и виртуальную) с группой, которая не получила предварительной тренировки. Поэтому говорить о преимуществах виртуальной лаборатории тут не приходится. С другой стороны, пошаговые инструкции, которые учащиеся получают в нужный момент, разгружают их рабочую память и тем самым облегчают процесс обучения. Такой подход называется «поддерживающим обучением» (scaffolding learning [30]). Живой учитель физически не в состоянии организовать поддерживающее обучение более чем для 2—3 человек одновременно, а компьютерная программа вполне с этим справляется. Организация поддерживающего обучения есть неоспоримое преимущество виртуальных лабораторий. Именно это попытались сделать авторы проекта ChemVLab+, охватившего 1400 студентов колледжей [31]. Однако их систему скорее можно назвать электронным учебником с виртуальными экспериментами, чем системой виртуальных экспериментов, содержащей подсказки для выполнения виртуальных экспериментов и обратную связь по запросу студента. Отмечено, что студенты показали улучшение результатов тестирования, когда содержание тестов не было раскрыто. Это иллюстрирует очевидный тезис: если студентов чему-то учить, то они чему-то научатся.

Отвлечение студентов во время лабораторных работ рассмотрено в обзоре [5]. На отвлечение студентов, не имеющих опыта выполнения лабораторных работ, обращали внимание авторы [32]. Дело в том, что работа в реальной лаборатории требует одновременного удержания в рабочей памяти кинестетических аспектов (что и как нужно сделать с приборами) и концептуальных (что происходит с веществами в опыте). Эти два аспекта связаны друг с другом слабо. Например, концептуальный аспект – «синтез нужно проводить в атмосфере азота», а кинестетический – «шланг от баллона с азотом не дотягивается до реакционного сосуда» [4]. Это вызывает отвлечение и,

как следствие, перегрузку рабочей памяти [33 и ссылки там]. Виртуальные лаборатории исключают кинестетические аспекты и тем самым снижают перегрузку рабочей памяти. С другой стороны, при достаточно раннем вовлечении студентов в реальный химический эксперимент кинестетические навыки отрабатываются до автоматизма, что может решить проблему отвлечения [34].

В ссылках к работе [43] отмечается, что студенты вузов перед первыми лабораторными занятиями по химии ощущают тревогу и неуверенность. Авторы предположили, что причиной этого является недостаточное знакомство с оборудованием, но это оказалось не так. Студенты отмечали пользу виртуальных лабораторий в подготовке к реальным экспериментам, но обоснованных причин этого авторы не дали. С другой стороны, студенты педагогических курсов отмечали, что комбинирование виртуальной и реальной лабораторий позволяет снизить неуверенность при выполнении реального эксперимента [35]. Таким образом, вопрос о роли виртуальных лабораторий в снижении неуверенности остаётся открытым.

В работе [36] сравнивались успехи студентов вузов при изучении электрохимии. Проверялись как понимание фактов из электрохимии, так и навыки конструирования электрохимической ячейки. На лабораторных работах студенты проводили реакции солей с металлами, конструировали медно-цинковую гальваническую ячейку, измеряли её напряжение, писали уравнения происходящих в ней реакций и т.п. Виртуальный эксперимент отличался тем, что студенты могли использовать разные растворы и металлы. Для проверки навыков работы с электрохимической ячейкой студенты должны были построить ячейку с максимальным напряжением из имеющихся реактивов. Как и в работе [30], достоверной разницы между реальными и виртуальными группами не обнаружено. Интересно, что успехи в получении знаний, но не навыков в реальных группах очень сильно зависели от личности преподавателя – разница между преподавателями была гораздо большей, чем между реальными и виртуальными группами в среднем. Единственной существенной разницей между виртуальными (66%

правильных) и экспериментальными (99% правильных) группами была корректность использования солевого мостика. Это как раз тот элемент, на который не было обращено внимания в виртуальной лаборатории – он присутствовал там всегда, и его не нужно было выбирать. Это говорит о том, что не соответствующие действительности черты виртуальной лаборатории негативно отражаются потом на результатах студентов.

В двух исследованиях [32, 37] авторы анализировали лог-файлы после решения студентами задач на стехиометрию. По результатам [38] были выявлены и классифицированы стратегии решения задач. Вообще, анализ действий студентов – весьма многообещающий инструмент налаживания обратной связи (в том числе автоматизированной), который невозможен в рамках реального эксперимента. С другой стороны, вопрос адекватности «виртуальных» действий реальным задачам всегда будет оставаться открытым.

В долгосрочном плане влияние виртуальной лаборатории исследовали в работе [38]. В течение полугода две контрольные группы работали в виртуальной лаборатории, а экспериментальная – в реальной. В контрольных группах были разные учителя. Результаты сравнивались по двум тестам, один из них проверял знания химических превращений, другой – знания лабораторной техники. Группа, работавшая в виртуальной лаборатории, показала несколько (хотя и не принципиально) лучшие результаты в тесте на химические превращения, а в знании лабораторного оборудования разницы не оказалось. Из этого делался вывод, что работа в виртуальной лаборатории даёт не худший результат, чем работа в реальной. К сожалению, в статье ничего не говорится ни о задачах, которые выполнялись в каждой группе, ни о том, какие другие занятия проводились в них. Известно только, что виртуальная лаборатория давала иллюстрированные комментарии о происходящем на микроуровне. Поэтому возникает вопрос о корректности их сопоставления. Кроме того, тесты проверяли только полученные знания.

Чем больше в эксперименте используется компьютер, тем меньше отличаются результаты использования виртуального и реального эксперимента. Например, при изучении закона Бойля с применением цифровой лаборатории группы, проводившие реальный и виртуальный эксперимент, одинаково хорошо усваивали соответствующие понятия [39]. Однако использование виртуального эксперимента затрудняет планирование реального. В более «компьютеризованном» эксперименте – при использовании виртуального тренажёра для обучения рентгеноспектральному анализу – студенты отмечали, что такое обучение помогло им совершенствовать навыки перед использованием реального прибора (однако контрольной группы не было) [40].

### **Комбинирование виртуального и реального эксперимента**

Выше мы уже писали, что в англоязычной литературе распространено мнение, что виртуальный и реальный эксперимент должны дополнять, а не заменять друг друга. Применительно к химии это отмечено в работе [25], хотя задача наладить взаимодействие между реальным и виртуальным экспериментом там не ставилась. В работе [41] отмечается, что виртуальные лаборатории позволяют представить вещества не только в макроскопическом, но и в микроскопическом аспекте (подробнее об аспектах см. [34]). Авторы предлагали студентам виртуальные лаборатории по электропроводности, в которых программа показывала происходящее в растворе на микроскопическом уровне. Интересно, что эксперимент, отображённый в виртуальной лаборатории, не мог быть повторён в реальности. Электрическая цепь на рисунке запитывалась от батарейки «Крона» напряжением 9В, а в цепь была включена лампочка с цоколем E27, которые выпускаются на напряжение минимум 36В.

Авторы [42] использовали виртуальные лаборатории для подготовки к реальным экспериментам во время дистанционных курсов. Студенты сначала работали в виртуальной лаборатории, воспроизводящей реальную, а затем во время очной сессии они приходили в ре-

альную лабораторию. Однако эксперимент был поставлен весьма запутанно, и реальный эффект был неочевиден. При этом известно, что школьники теряют интерес к реальному эксперименту после проведения виртуального [43]. Кроме того, по данным [40] использование виртуального эксперимента иногда затрудняет планирование реального. Из этого следует, что применять виртуальный эксперимент следует с осторожностью и в первую очередь в дистанционных курсах. С другой стороны, проблему потери интереса, а также проблему несоответствия виртуальных экспериментов можно решить, не показывая в виртуальной лаборатории результаты экспериментов, а только отрабатывая в ней экспериментальные приёмы [43, 44]. При этом виртуальная лаборатория внешне может воспроизводить реальную [43].

Авторы [33] использовали виртуальную лабораторию для подготовки студентов-заочников несколько иначе. Студенты работали в виртуальной лаборатории как перед, так и после реальной, но они не имитировали реальные эксперименты. Перед реальной сессией студенты выстраивали порядок решения экспериментальных задач. После работы в реальной лаборатории они обсуждали результаты теоретически. Компьютерная программа при этом обеспечивала доступ всех участников ко всем полученным результатам. Программа также давала необходимые подсказки, в том числе в форме анимаций. Особое внимание уделялось организации общения студентов, вплоть до того, что «любое решение принималось только после обсуждения, и должно было быть объяснено». Таким образом, предполагалось, что виртуальные лаборатории должны формировать теоретические представления, а реальные – экспериментальные навыки. Однако вывод из этой работы несколько странный: те студенты, которые взаимодействовали друг с другом, добились больших успехов, чем те, которые работали поодиночке.

### **Выводы**

В англоязычной литературе существует консенсус, что виртуальный эксперимент должен не заменять, а дополнять реальный.

Большинство авторов склоняется к тому, что наблюдать явления (по крайней мере, в первый раз) нужно при выполнении реального эксперимента. Виртуальные эксперименты используют в дополнение к достаточно сложным реальным экспериментам – никто не занимается этим в случае простых пробирочных опытов.

Виртуальному эксперименту отводятся следующие роли:

- подготовка к реальному эксперименту (тогда виртуальный эксперимент выполняется перед реальным);
- визуализация химических понятий, связанных с ненаблюдаемыми непосредственно явлениями и строением вещества на микроскопическом уровне;
- осмысление результатов реального эксперимента;
- автоматический анализ активности студентов.

В обоих случаях виртуальные лаборатории должны содержать черты, которые отличают их от реальных, в первую очередь:

- своевременную подачу инструкций и подсказок в соответствии с принципами поддерживающего обучения (scaffolding learning);
- доступ к результатам реальных экспериментов всех участников процесса;
- анимации, иллюстрирующие процесс на микроскопическом уровне;
- средства сбора и анализа данных по действиям студентов.

При подготовке студентов к реальным экспериментам при помощи виртуальной лаборатории виртуальная лаборатория не должна показывать результаты экспериментов.

В большей мере эти выводы приемлемы для обучения химии в высшей, а не в средней школе, особенно в младших классах. Применение виртуальных лабораторий в средней школе исследовано недостаточно. Также недостаточно исследовано влияние личностных черт на эффективность виртуальных экспериментов, хотя имеются указания на наличие такого влияния.



Важнейшим неисследованным вопросом остаётся применимость знаний и навыков, полученных в виртуальной лаборатории, для решения реальных задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Heradio R., de la Torre L., Galan D., Cabrerizo F.J., Herrera-Viedma E., Dormido S. Virtual and remote labs in education: a bibliometric analysis. // *Computers & Education*, 2016, 98, p. 14—38.

2. Potkonjak V., Gardner M., Callaghan V., Mattila P., Guetl C., Petrovic V.M., Jovanovic K. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. // *Computers & Education*, 2016, 95, p. 309—327.

3. Boulos, M.N.K., Hetherington, L., Wheeler, S. Second Life: an overview of the potential of 3-D virtual worlds in medical and health education. // *Health Information and Libraries Journal*, 2007, 24(4), p. 233—245.

4. Woodfield B.F., Andrus M.B., Andersen T., Miller J., Simmons B., Stanger R., Waddoups G.L., Moore M.S., Swan R., Allen R., Bodily G. The virtual ChemLab project: A realistic and sophisticated simulation of organic synthesis and organic qualitative analysis. // *Journal of Chemical Education*, 2005, 82(11), p. 1728—1735.

5. Kirschner P., Huisman W. 'Dry laboratories' in science education; computer-based practical work. // *International Journal of Science Education*, 1998, 20(6), p.665—682

6. Magin D.J., Kanapathipillai, S. Engineering students' understanding of the role of experimentation. // *European Journal of Engineering Education*, 2000, 25(4), p. 351—358.

7. De Jong T., Linn M.C., Zacharia Z.C. Physical and virtual laboratories in science and engineering education.// *Science*, 2013, 340,p. 305—308.

8. Toth E.E., Morrow B.L., Ludvico L.R. Designing blended inquiry learning in a laboratory context: A study of incorporating hands-on and virtual laboratories. // *Innovative Higher Education*, 2009, 33(5),p. 333—344.

9. Engum S.A., Jeffries P., Fisher L. Intravenous catheter training system: Computer-based education versus traditional learning methods. // *The American Journal of Surgery*, 2003, 186(1), p. 67—74.

10. Abdulwahed M., Nagy Z.K., Blanchard R. The TriLab, a novel view of laboratory education. [https://www.heacademy.ac.uk/system/files/p051-abdulwahed\\_0.pdf](https://www.heacademy.ac.uk/system/files/p051-abdulwahed_0.pdf)

11. Grant A. The effective use of laboratories in undergraduate courses. // *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 1995, 23(2), p. 95—101.

12. Parush, A., Hamm, H., Shtub, A. 2002. Learning histories in simulation-based teaching: The effects on self-learning and transfer. // *Computers & Education*, 2002, 39, p. 319—332.

13. *Riess W., Mischo C.* Promoting systems thinking through biology lessons. // International Journal of Science Education, 2010, 32, p. 705—725.
14. *Kavtaradze D., Leigh E.* Simulation models and games XVIII-XXI centuries. 2015. <http://www.referencepapers.info/>
15. *Ma J., Nickerson J.V.* Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. // ACM Computer Survey, 2006, 38, (3), Article 7, p. 1—24.
16. *Brinson J.R.* Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. // Computers & Education 2015, 87, p. 218—237
17. *Merchant Z., Goetz E.T, Cifuentes L., Keeney-Kennicutt W., Davis T.J.* Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. // Computers & Education, 2014, 70, p. 29—40.
18. *Sypas A., Kalles D.* 2018. Virtual laboratories in biology, biotechnology and chemistry education: A literature review. / Proceedings of the 22nd Pan-Hellenic Conference on Informatics, November 29-December 1, 2018, Athens, Greece, p. 70—75.
19. *Raineri D.* Virtual laboratories enhance traditional undergraduate biology laboratories. // Biochemistry and Molecular Biology Education, 2001, 29 (4), p.160—162.
20. ABET. 2005. Criteria for accrediting engineering programs. <http://www.abet.org/Linked%20Documents-UPDATE/Criteria%20and%20PP/05-06-EAC%20Criteria.pdf>.
21. *Abdulwahed M., Nagy Z.K.* The TriLab, a novel ICT based triple access mode laboratory education model. // Computers & Education, 2011, 56, p.262—274.
22. *Stuckey-Mickell T.A., Stuckey-Danner B.D.* Virtual labs in the online biology course: student perceptions of effectiveness and usability. // MERLOT Journal of Online Learning and Teaching, 2007, 3(2), p. 105—111, <http://jolt.merlot.org/vol3no2/stuckey.pdf>.
23. *Kolb D.A.* Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Prentice Hall, 1983.
24. *Hmelo C.E., Holton D.L., Kolodner J.L.* Designing to learn about complex systems.// Journal of the Learning Sciences, 2000, 9(3),p.247—298.
25. *Yaron D., Karabinos M., Cuadros J., Greeno J.G., Leinhardt G.* The ChemCollective: virtual labs and tutorials for introductory chemistry. / 22<sup>nd</sup> International Conference on Chemistry Education. 11<sup>th</sup> European Conference on Research in Chemical Education, 15-20 July 2012, Rome, Italy. Abstract book. p. 224.
26. *Pyatt K., Si R.* Virtual and physical experimentation in inquiry-based science labs: attitudes, performance and access. // Journal of Science Education and Technology, 2012, 21, p.133—147.

27. *Winkelmann K., Scott M., Wong D.* A study of high school students' performance of a chemistry experiment within the virtual world of Second Life. // *Journal of Chemical Education*, 2014, 91, p. 1432—1439.

28. *Winkelmann K., Keeney-Kennicutt W., Fowler D., Macik M.* Development, implementation, and assessment of general chemistry lab experiments performed in the virtual world of Second Life. // *Journal of Chemical Education*, 2017, 94, p. 849—859.

29. *Ullah S., Ali N., Rahman S.U.* The effect of procedural guidance on students' skill enhancement in a virtual chemistry laboratory. // *Journal of Chemical Education*, 2016, 93, p. 2018—2026.

30. *Williams M., Linn M.C., Ammon P., Gearhart M.* Learning to Teach Inquiry Science in a Technology-Based Environment: A Case Study. // *Journal of Science Education and Technology*, 2004, 13(2), p.189—206.

31. *Davenport J.L., Rafferty A.N., Yaron D.J.* Whether and how authentic contexts using a virtual chemistry lab support learning. // *Journal of Chemical Education*, 2018, 95, p. 1250-1259.

32. *Barros B., Read T., Verdejo M.F.* Virtual collaborative experimentation: an approach combining remote and local labs. // *IEEE Transactions on Education*, 2008, 51(2), p. 242—250.

33. *Жилин Д.М.* Когнитивная психология: ключ к решению некоторых проблем преподавания химии // Первое сентября. Химия. 2015, Октябрь, с. 3—8.

34. *Жилин Д.М.* Вовлечение школьников 8—10 лет в химию: опыт Политехнического музея. /Естественнонаучное образование: новые горизонты. М.: Издательство Московского университета, 2017, с. 123—145.

35. *Alkan F., Koçak C.* Chemistry laboratory applications supported with simulation. // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2015, 176, p. 970—976.

36. *Hawkins I., Phelps A.J.* Virtual laboratory vs. traditional laboratory: which is more effective for teaching electrochemistry? // *Chemistry Education Research and Practice*, 2013,14, p. 516—523.

37. *Gal Y., Uzan O., Belford R., Karabinos M., Yaron D.* Making Sense of Students' Actions in an Open-Ended Virtual Laboratory Environment. // *Journal of Chemical Education*, 2015, 92, p. 610—616.

38. *Tatli Z., Ayas A.* Effect of a virtual chemistry laboratory on students' achievement. // *Educational Technology & Society*, 2013, 16 (1), p. 159—170.

39. *Chen S., Chang W.-H., Lai C.-H., Tsai C.-Y.* A comparison of students' approaches to inquiry, conceptual learning, and attitudes in simulation-based and micro-computer-based laboratories. // *Science Education*, 2014, 98 (5), p. 905—935.

40. *Lu X., Tian D., He Y.-T., Yao L., Fan R.-L.* A web-based virtual laboratory for electron probe microanalysis. // *Computer Applications in Engineering Education*, 2015, 23(4), p. 489—498.

---

41. *Irby S.M., Borda E.J., Haupt J.* Effects of Implementing a Hybrid Wet Lab and Online Module Lab Curriculum into a General Chemistry Course: Impacts on Student Performance and Engagement with the Chemistry Triplet. // *Journal of Chemical Education*, 2018, 95, p. 224—232.

42. *Dalgarno B., Bishop A.G., Adlong W., Danny R. Bedgood Jr. D.R.* Effectiveness of a virtual laboratory as a preparatory resource for distance education chemistry students. // *Computers & Education*, 2009, 53(3), p. 853—865.

43. *Дорофеев М.В., Нагин Н.А., Луцкай М.Г.* Мотивационный ресурс виртуальной химической лаборатории. // *Химия в школе*, 2008, № 9, с. 60—67.

44. *Martinez-Jimenez P., Pontes-Pedrajas A., Polo J., Climent-Bellido M.S.* Learning in chemistry with virtual laboratories. // *Journal of Chemical Education*, 2003, 80(3), p. 346—352.