

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ЛАБОРАТОРИЙ НА УРОКАХ ХИМИИ

**Беспалов П.И.<sup>1</sup>, Дорофеев М.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский центр развития кадрового потенциала образования*

<sup>2</sup> *ГБОУ школа №1253, г. Москва*

В информационное пространство современной школы интегрируются новые технологии химического образования, в том числе компьютерные, поступает оборудование, расширяющее возможности учителя химии. Внедрение современной измерительной техники — цифровых лабораторий — в учебный процесс влечёт за собой совершенствование химического эксперимента.

Цифровая (компьютерная) лаборатория (ЦЛ), программно-аппаратный комплекс, датчиковая система — комплект учебного оборудования, включающий измерительный блок, интерфейс которого позволяет обеспечивать связь с персональным компьютером, и набор датчиков, регистрирующих значения различных физических величин.

ЦЛ позволяют организовать учебный эксперимент на принципиально новом уровне, сделать его более наглядным, показать изменение величин во времени, вывести результаты измерений на большой экран, перейти к элементам научного исследования. Перейти от исключительно качественной оценки наблюдаемых явлений к анализу количественных характеристик, в полной мере реализовать возможности межпредметных связей с физикой, экологией, биологией, математикой и информатикой. ЦЛ позволяют выполнять интегрированные учебные проекты по естественным наукам, применять и осваивать ме-

годы статистики, прикладной математики, информационных технологий [5, 6].

ЦЛ используются в учебном процессе для проведения химических демонстраций, организации практических занятий и лабораторных опытов, исследовательских практикумов, учебных проектов как на уроке, так и вне урока, в том числе и в полевых условиях [3]. Они обеспечивают автоматизированный сбор и обработку данных, результаты экспериментов могут сохраняться в реальном масштабе времени и воспроизводиться синхронно с их видеозаписью.

*ЦЛ позволяют сформировать правильные представления о современном научном исследовании.* Систематическое выполнение количественных экспериментальных задач вырабатывает у школьников необходимые умения точной количественной оценки результатов эксперимента и существенно изменяет характер поисковой познавательной деятельности. Решение творческих задач, связанных с количественными измерениями, побуждает ребенка к рефлексивному мышлению, к поиску выхода из затруднений, к использованию методов, в том числе инструментальных, характерных для науки. Использование ЦЛ позволяет развить у школьников представления о научном факте, истинность которого устанавливается опытным, практическим путём.

Решая такие задания в рамках урока или специальной проектно-поисковой деятельности, ученик должен понять, что единичное наблюдение, измерение, не является научным фактом. В химии, как и в других естественных науках, имеет место статистическая обработка множества данных, позволяющая исключить содержащиеся в них случайные элементы и получить высказывание-резюме об этих данных, которое и приобретает статус научного факта [7]. В связи с этим известный философ Карл Поппер, рассматривая проблему проверяемости научного знания, писал о превосходстве «методов, использующих измерения, над чисто качественными методами» [8]. Ученик должен понимать, что точные измерительные приборы, в том числе цифровые, периодически требуют настройки с применением эталонов, а в случае необходимости – дополнительной калибровки.

ЦЛ обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционной формой проведения школьного химического эксперимента:

- обеспечивают наглядное представление результатов эксперимента в виде графиков, диаграмм и таблиц;
- предоставляют возможность хранения и компьютерной обработки результатов эксперимента, данных измерений;
- предоставляют возможность сопоставить данные, полученные в ходе различных экспериментов;
- сокращают время эксперимента;
- позволяют индивидуализировать обучение, учитывать психолого-педагогические особенности каждого школьника при организации проектной деятельности.

В настоящее время ЦЛ используются в основном только для внеурочной деятельности школьников, в частности, для организации исследовательской и проектной работы учащихся. Ограничение применения ЦЛ на уроках, по нашему мнению, обусловлено следующими причинами:

- жёсткими временными рамками урока;
- практически полным отсутствием количественного химического эксперимента в базовых учебных программах;
- недостаточным вниманием к проблемному, поисковому и исследовательскому эксперименту на уроках;
- проблемами с оснащённостью кабинетов химии необходимым оборудованием;
- использованием понятий, содержание которых выходит за рамки образовательного стандарта.

Попробуем проанализировать названные причины. Первая из них – нехватка учебного времени. Жёсткие рамки урока – наиболее частый аргумент, который приходится слышать. Приводятся резонные доводы о том, что учителю химии в современной школе катастрофически не хватает учебного времени. На базовом уровне химия в старшей школе изучается в объёме одного часа в неделю или интегрирует-

ся в единый курс естествознания. Вместе с тем постоянно проводятся контрольные мониторинги, предметное тестирование и срезы знаний учащихся. Как быть учителю в этих условиях? «Нужно программу успеть пройти, не до цифровых лабораторий сейчас!», «Раньше без всяких лабораторий обучали, еле успевали, а сейчас времени ещё меньше!».

*Использование цифровых лабораторий не ограничивает, а экономит время урока.* Например, измерить и зафиксировать температуру с помощью датчика можно объективно быстрее, чем с помощью спиртового термометра. Однако практика показывает, что первые попытки учителя организовать урок с использованием ЦЛ не приносят желаемого удовлетворения, учебного времени катастрофически не хватает, урок проходит быстро, а поставленные задачи остаются неразрешёнными. Действительно, на начальных этапах, когда школьники только овладевают умениями работать с регистраторами и датчиками, лабораторный опыт с применением ЦЛ может быть более продолжительным, чем организованный в традиционной форме.

Вместе с тем есть несколько практических рекомендаций, которые позволяют учителю преодолеть это затруднение при организации ученического эксперимента.

- Время, потраченное учителем на подготовку к лабораторному опыту или практическому занятию, «окупается» на уроке. Всё необходимое оборудование, реактивы следует подготовить и проверить заранее, чтобы избежать досадных недоразумений и не тратить на их устранение часть урока. Принадлежности должны располагаться на столе в определённом порядке, доступно, чтобы учащийся мог быстро приступить к работе, а не выяснять, что где лежит, распутывать провода, подбирать пробки для колб или пробирок и т.п.
- «Глобальных» исследований, занимающих бесконечно много времени, следует избегать. Учебная задача должна быть конкретна, доступна и понятна ученикам. Для её выполнения отводится определённый этап урока.

- Инструкции учителя, как словесные, так и написанные на карточках, должны соответствовать поставленной цели. При их составлении следует обратить внимание на предотвращение распространённых ошибок, которые часто допускают школьники при выполнении того или иного опыта.
- Умелая организация учащихся на соблюдения порядка во время работы и на уборку рабочего места после выполнения, приучает школьников к аккуратности и разумной быстроте, а учителю позволяет избежать дополнительных затрат времени при подготовке к следующему уроку.
- Применение ЦЛ зачастую упрощает технику химического эксперимента и в то же время позволяет акцентировать внимание школьников на существенных сторонах изучаемого явления. Проведенные педагогические исследования [2] убедительно доказывают, что ЦЛ (датчиковые системы) позволяют провести учебные демонстрационные эксперименты более эффективно по сравнению с «традиционными опытами», которые, как правило, раскрывают исключительно качественные стороны демонстрируемого объекта. ЦЛ позволяют учителю в динамике продемонстрировать зависимость исследуемого параметра от времени или от другой величины, например, от температуры.

*Применение цифровых лабораторий делает демонстрационный и лабораторный химический эксперимент более наглядным, представляет изучаемый процесс в динамике. Отпадает необходимость в поиске дополнительных мер, нацеленных на усиление выразительности проявления наиболее существенных сторон рассматриваемого явления. При правильной, чёткой, организации урока эксперимент, предполагающий применение данного оборудования, занимает минимум учебного времени.*

Вторая причина — количественный химический эксперимент не предусмотрен учебной программой. Действительно, все существующие современные программы и учебники ориентированы лишь на качественный эксперимент. Количественные характеристики химиче-

ского явления остаются за рамками школьного курса. Химия противопоставляется физике, при изучении основ которой основное внимание уделяется именно количественным экспериментам. Создаются предпосылки для формирования у школьников ошибочного представления о научных методах познания природы.

Д.И. Менделеев подчеркивал, что «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немислима без меры», «В мере и числе ум находит твёрдую опору для проверки своих построений и попыток постижения сущности дела». Не случайно в старых школьных учебниках химии количественный эксперимент занимал достойное место. Проводились практические работы по определению кислотности молока, муки, хлеба, учащиеся определяли рН почвенной вытяжки, на основании количественных измерений экспериментально проверяли гипотезы строения этилового спирта и т.д. Данному виду эксперимента были посвящены отдельные книги [1].

Следует отметить, что ЦЛ может с успехом применяться также для качественной оценки изучаемого явления, при этом расширяются возможности учителя для организации проблемного, поискового и исследовательского эксперимента.

Несмотря на указанные причины, с каждым годом расширяется число школ, в образовательный процесс которых внедряются современные технические средства обучения. Вместе с тем необходимо акцентировать внимание на проблемах, существенно снижающих эффективность применения ЦЛ:

- переключение внимания школьников с изучаемого явления на взаимодействие с измерительными приборами;
- подмена учебных целей, вместо изучения явления — регистрация данных;
- снижение эффективности самостоятельной работы школьника, все «рутинные» вычисления и построения, во время которых проходит очень важное осмысление и переосмысление полученной информации, проводит компьютер;

- возникает «эффект чёрного ящика», ученику не известен принцип действия датчиков и, соответственно, ему сложно установить причинно-следственные связи между наблюдаемым явлением и графиками на экране;
- угасание «эффекта новизны», постепенное снижение изначально высокого познавательного интереса к работе с ЦЛ.

На основе анализа выявленных проблем и в соответствии с требованиями к учебному химическому эксперименту [9] сформулированы ключевые принципы методики использования ЦЛ.

*1. Принцип соответствия содержания дидактической цели или принцип доминанты.* На уроке в целом и во время проведения эксперимента, в частности, внимание всех субъектов образовательного процесса должно быть обращено в первую очередь на изучаемый химический феномен. ЦЛ – это лишь средство обучения. Определяя дидактические цели и задачи урока, необходимо перенести акценты на формирование ключевых, надпредметных и предметных компетенций школьников. Задачи развития умений обращения с персональным компьютером, датчиковыми системами, входящими в состав ЦЛ, должны быть второстепенными. Обучение компьютерным технологиям регистрации экспериментальных данных должно играть вспомогательную роль.

*2. Принцип необходимости.* Систематическое использование ЦЛ на уроках химии не может быть самоцелью химического образования, оно эффективно лишь в случае объективной необходимости, когда достижение поставленной педагогической задачи невозможно другими средствами. Необходимость применения ЦЛ на уроке в первую очередь связана с количественной стороной учебного химического эксперимента, динамикой изменения исследуемого параметра.

Например, для изучения тепловых эффектов, наблюдаемых при растворении веществ, целесообразно использовать традиционное оборудование: демонстрационные термометры, термоскопы. Давно доказана эффективность проведения наглядных опытов, таких как примерзание деревянной дощечки ко дну стакана, в котором растворяется

нитрат аммония. Вместе с тем для количественной оценки теплового эффекта растворения вещества целесообразно с помощью ЦЛ снять температурную кривую растворения, анализ которой существенно упрощает поиск максимума и минимума температуры исследуемой смеси по сравнению с использованием обычного лабораторного термометра.

*3. Принцип проблемности.* Высокой педагогической эффективности применения ЦЛ можно добиться, если ученики самостоятельно придут к выводу о необходимости применения ЦЛ для проведения эксперимента. Для реализации такого подхода необходимо выполнение двух условий: наличие проблемной ситуации, разрешение которой по силам школьникам, и знания учеников о возможностях ЦЛ при проведении физико-химических исследований.

Так, на первых уроках химии в 8-м классе идёт речь о физических свойствах веществ, в частности о температуре плавления и кипения. В урок можно включить обсуждение методов измерения температуры. Учитель демонстрирует измерение температуры плавления веществ с помощью термометра и термопары – датчика из комплекта ЦЛ. На одном из последующих уроков, практическом занятии, восьмиклассникам предлагается экспериментально исследовать строение пламени спиртовки. После проведения традиционного теста с лучинкой и выделения трёх зон пламени ученики получают новую задачу — определить количественные характеристики температуры каждой зоны. Анализируя пределы измерения школьного лабораторного термометра, учащиеся быстро приходят к выводу, что данный прибор не подходит для решения поставленной задачи, возникает проблемная ситуация. Вспоминая известные методы измерения высоких температур, ученики приходят к выводу, что поставленную задачу можно решить, используя термопару, соединённую с портативным компьютер-регистратором.

Другой пример связан с применением датчика pH при изучении темы «Основные классы неорганических соединений» в 8-м классе. Так, на уроках, посвящённых изучению свойств кислот и щелочей,



школьники узнают, что реакцию среды в растворе можно узнать как с помощью индикаторов, так и с помощью рН-метра. Затем на этапе обобщения знаний по теме при проведении практической работы восьмиклассникам предлагается экспериментальная задача: определить, в какой пробирке находится вода, а в какой раствор кислоты или щелочи. Школьники без труда справляются с поставленной задачей, используя растворы индикаторов или индикаторную бумагу. Однако затем условие усложняется, ученикам предлагается определить, где находится кислота или щелочь, но выданные растворы не бесцветные, а окрашенные. Решение проблемы находится в применении датчика рН, входящего в комплект ЦЛ.

*4. Принцип осознанности.* Выполняя самостоятельную экспериментальную работу с применением ЦЛ, ребёнок должен осознавать её цель, понимать взаимосвязь между выполняемыми действиями и решаемыми учебными задачами, различать их существенные и несущественные стороны, уметь объяснять содержание осуществляемого эксперимента, полученные результаты, критически оценивать их.

По мнению М.А. Афанасьева [1], «качественная сторона опыта должна быть ясна учащимся до количественных определений». Мы полагаем, что количественный учебный эксперимент выполняет эвристическую функцию ничуть не меньше, чем исключительно качественный. Он вполне может служить средством формирования новых химических знаний, установления закономерностей. В зависимости от поставленных задач он может предшествовать теоретическому обобщению и качественной оценке исследуемого явления. Выполняя количественные измерения, ученики могут выдвигать гипотезы о направленности изучаемого процесса, о составе продуктов реакции, а также экспериментально проверять свои предположения.

Наиболее распространенный вариант организации индивидуальной или групповой познавательной деятельности школьников с использованием ЦЛ — практическая работа, выполняемая по инструкции. Вместе с тем чётко выполняя каждый пункт подробной инструкции, ученик может потерять логику решения учебной задачи, пе-

реключить внимание с изучаемого явления на взаимодействие с измерительными приборами. Компьютерные технологии могут привлечь его внимание в большей степени, чем исследуемый химический феномен. Он зарегистрирует все необходимые результаты, правильно их обработает, безукоризненно оформит отчёт. Но, выполнив задание лишь формально, ребенок будет рассчитывать на высокую оценку своего труда.

Таким образом, учитель, составляя инструкцию для школьника, должен постоянно помнить о дидактической цели планируемой практической работы, о цели образования в целом. Инструкция должна побуждать ребенка к осмыслению и переосмыслению, должна ставить вопросы, требующие от него критического и системного анализа, установления логических связей, формулировки выводов. В противном случае, обучение будет направлено на формирование бездумного работника, чётко и неукоснительно выполняющего инструкции. Также следует помнить, что выполнение работы должно быть интересно для ученика, инструкция должна быть понятна и выполнима.

С другой стороны, говоря об осознанности, необходимо учитывать, что школьники на определённом этапе обучения не знают принципов работы датчиков, не понимают, какие преобразования происходят в компьютере – регистраторе экспериментальных данных, каков физический и химический смысл используемых понятий (например, водородный показатель рН в 8-м классе). Другими словами, соблюдается ли принцип осознанности, если восьмиклассник измеряет рН раствора, не зная положений теории электролитической диссоциации, устройства датчика, принципов его работы, не владея необходимым математическим аппаратом, в частности, не умея логарифмировать и потенцировать. Есть ли необходимость сначала объяснить ученику принципы работы термопары и только после этого вооружить его ею? Можно ли считать эксперимент критерием истинности, если непонятно, как получены результаты?

С точки зрения методологии науки сначала необходимо разобратся в принципах работы используемых приборов, датчиков и

только после этого применять их на практике. Так, знаменитый немецкий физик Вернер Гейзенберг в работе «Часть и целое», говоря об экспериментах, которые практически всегда являются косвенными, цитирует слова А. Эйнштейна [4]: «Подлежащий наблюдению процесс вызывает определённые изменения в нашей измерительной аппаратуре. Как следствие, в этой аппаратуре развёртываются дальнейшие процессы, которые, в конце концов, косвенным путём воздействуют на чувственное восприятие и на фиксацию результата в нашем сознании. На всём этом долгом пути от процесса к его фиксации в нашем сознании мы обязаны знать, как функционирует природа, должны быть хотя бы практически знакомы с её законами, без чего вообще нельзя говорить, что мы что-то наблюдаем».

На наш взгляд, существенное упрощение теоретических представлений об устройстве и принципах работы датчиков снижает ожидаемый педагогический эффект применения ЦЛ, не побуждает школьника к личностному росту. Решение этого затруднения мы видим в поэтапном формировании знаний о сущности работы приборов, когда ученик под руководством учителя постепенно выходит на уровень научного понимания и осмысления сущностных характеристик датчиковых систем.

*5. Принцип кратковременности.* Одно из важнейших требований к любому учебному химическому эксперименту — небольшая продолжительность. Он, в отличие от научного эксперимента, должен длиться несколько минут, так как ограничен рамками урока и играет подчинённую роль по отношению к содержанию урока. При использовании ЦЛ необходимо также учитывать время на монтаж экспериментальной установки, подготовку компьютера и датчиков к регистрации данных, в ряде случаев перед опытом требуется дополнительная калибровка измерительного оборудования.

Вместе с тем, экономить время на обработке и интерпретации данных недопустимо. Стремление учителя выиграть учебное время для решения других задач на уроке за счёт сворачивания этапа обработки полученных результатов, его автоматизации, перенесения ос-

новой нагрузки на вычислительную машину, существенно снижает эффективность применения ЦЛ. Компьютер должен решать лишь рутинные однообразные задачи. Осмысление и переосмысление цели работы, химической сущности наблюдаемого явления происходит в тот момент, когда ученик самостоятельно работает с данными, полученными в ходе исследования, обдумывает их, интерпретирует.

На этом этапе целесообразно предложить школьникам заполнение таблиц, составлении схем, построение графиков вручную, например, на миллиметровой бумаге или соответствующем поле заранее подготовленной инструктивной карты. Такой вид учебной деятельности особенно важен в начальный период формирования умений работы с ЦЛ. Например, изучая строение пламени с помощью термомпары, на одном из первых практических занятий восьмиклассники не должны ограничиться простым созерцанием построенного на экране компьютера графика зависимости температуры от времени. Необходимо зарисовать схему строения пламени и сделать к ней соответствующие подписи с указанием измеренных величин температуры. Постепенно, по мере приобретения исследовательского опыта, школьники сами начнут предлагать и использовать возможности компьютерной обработки экспериментальных данных.

*6. Принцип вариативности.* С одной стороны, применение небольшого числа датчиков (наиболее часто применяются датчики температуры и рН-метр) для решения однообразных исследовательских задач постепенно снижает интерес школьников к экспериментальным работам, предполагающим использование ЦЛ, угасает «эффект новизны». Поэтому учителю необходимо планировать учебные эксперименты, разнообразные по содержанию и формам применения ЦЛ, расширять спектр используемых датчиков, полнее реализовывать межпредметные связи, апробировать различные варианты включения ЦЛ в организацию познавательной деятельности школьников на уроках химии.

С другой стороны, применение ЦЛ на основе реализации принципа вариативности создаёт благоприятные условия для развития

творческих способностей учеников. Так, после того как учитель убедится, что школьники уверенно овладели приёмами работы с ЦЛ, приобрели необходимый исследовательский опыт, перед ними можно ставить вариативные экспериментальные задачи, содержащие неопределённость и требующие осознанного выбора. Например, школьникам можно предложить количественно определить тепловой эффект растворения некоторого вещества ( $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Работу можно организовать в группах. В качестве средства для измерения температуры предложить на выбор лабораторный термометр и соответствующий датчик из комплекта ЦЛ. Затем попросить школьников обосновать свой выбор, сравнить результаты, полученные различными группами, экспериментальные и справочные данные.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев М.А., Арханяц В.А., Тулякова Г.М., Королев Д.П. Количественные опыты по химии. Пособие для учителей. — М.: Просвещение. 1972. — 191 с.
2. Батаева Е.В., Дёмин В.В. Методика сравнения эффективности демонстрационного эксперимента. // Вестник Московского университета. Сер. 20, Педагогическое образование. — 2012, № 2. — С. 50—61.
3. Беспалов П.И., Дорофеев М.В., Жилин Д.М., Зими́на А.И., Оржековский П.А. Использование цифровых лабораторий при обучении химии в средней школе. — М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2014. — 229 с.
4. Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. — М.: Наука. 1989. — С. 191—192.
5. Дорофеев М.В., Зими́на А.И., Стунеева Ю.Б. Принципы эффективного использования цифровых лабораторий на уроках химии. // Химия в школе. 2010, № 2. — С. 55—63.
6. Зими́на А.И., Беспалов П.И., Дорофеев М.В. Применение цифровых лабораторий при проведении демонстрационного эксперимента // Химия в школе. 2010, № 10. — С. 59—66.
7. Микешина Л.А. Философия науки. — М.: Изд-во «Прогресс-Традиция», 2005. — С. 289—290.
8. Поппер К. Логика и рост научного знания. — М.: Прогресс, 1983. — С. 166.
9. Чернобыльская Г.М. Методика обучения химии в средней школе: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС. 2000. — С. 72—102.