

# Применение интерактивных компьютерных моделей и тренажерных комплексов в учебном процессе

Application of interactive computer models and training complexes in the educational process



**К. А. Карпов,**

к. х. н., доцент, кафедра инновационного менеджмента,  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)  
✉ kakarpov@etu.ru

**K. A. Karпов,**

PhD (chemistry), associate professor, department of innovation management,  
Saint Petersburg electrotechnical university «LETI»

В статье рассматриваются технологии, используемые при разработке физических и виртуальных тренажерных комплексов, а также основные принципы создания интерактивных обучающих анимационных цифровых двойников технологических установок. Приведены примеры использования в учебном процессе визуальных компьютерных моделей различных технологических объектов при повышении квалификации специалистов предприятий нефтегазовой отрасли. Проанализирована эффективность применения виртуальных тренажеров и цифровых двойников технологических объектов при очном и онлайн-обучении. Показано, что использование компьютерных моделей технологических объектов способствует лучшему усвоению теоретических основ процессов различных классов, а также может выступать как средство контроля знаний учащихся.

The article discusses the technologies used in the development of physical and virtual training complexes, as well as the basic principles for creating interactive educational animated digital twins of technological installations. Examples of the use of visual computer models of various technological objects in the educational process for improving the skills of specialists in the oil and gas industry are given. The effectiveness of the use of virtual simulators and digital twins of technological objects in full-time and online training is analyzed. It is shown that the use of computer models of technological objects contributes to a better assimilation of the theoretical foundations of the processes of various classes, and can also act as a means of controlling students' knowledge.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, интерактивная программа, тренажерная система, виртуальная реальность, цифровой двойник, автоматизация технологических объектов, обучение персонала, инновации.

**Keywords:** computer modelling, interactive program, training system, a virtual reality, digital twin, automation of technological objects, staff training, innovation.

## Введение

На персонал предприятий нефтегазохимического комплекса (НГХК) накладывается повышенная ответственность и высокие требования к профессиональным компетенциям. При этом большое значение имеет обучение сотрудников предприятий НГХК при помощи различных тренажерных комплексов и анимационных компьютерных моделей, проводимое непосредственно на предприятиях, а также на курсах повышения квалификации.

Согласно действующим федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» (п. П.13), следует, что инженерно-технические работники, непосредственно занятые ведением технологического процесса и эксплуатацией оборудования на этих объектах, проходят курс подготовки с использованием современных технических средств обучения и отработки таких навыков (компьютерные тренажеры, учебно-тренировочные полигоны). Компьютерные тренажеры должны содержать максимально приближенные к реальным динамические модели процессов и реальные средства управления (функциональные клавиатуры, графические экранные формы) [1, 2].

В настоящей статье будут рассмотрены различные тренажерные системы и обучающие симуляторы отече-

ственного производства (физические и виртуальные), в том числе разработки автора данной статьи, а также зарубежные свободно распространяемые (бесплатные) программные пакеты для создания цифровых двойников технологических объектов, которые применяются для обучения и повышения квалификации специалистов предприятий нефтегазовой отрасли.

## Решение проблемы

В качестве примера физического тренажера можно привести разработанный ООО «ЗАО АМТ» (Санкт-Петербург) тренажер – имитатор бурения АМТ-231, который является эффективным техническим средством для обучения и повышения квалификации инженерного персонала буровых подразделений нефтегазодобывающих предприятий, а также для обучения студентов по нефтегазовым направлениям и специальностям. Аппаратно-программный комплекс тренажера состоит из пультов и постов управления оборудованием для проводки скважин, персонального компьютера и программного обеспечения. Тренажер имитирует в реальном и ускоренном масштабах времени технологические процессы проводки скважин: углубления, спускоподъемных операций, цементирования, ликвидации нефтегазопрооявления.

Другой разработкой ЗАО «АМТ» является тренажер – имитатор эксплуатации и освоения скважин АМТ-601, предназначенный для инженерного персона-

ла добывающих подразделений нефтегазодобывающих предприятий, а также студентов по специальности разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений [2].

В заключение обзора тренажеров – имитаторов в области бурения и эксплуатации скважин следует отметить, что финансовые вложения в обучающие программы и тренажерные системы несравнимо малы в сравнении с потенциальным риском потери углеводородной продукции и нежелательным непродуктивным временем на буровой установке.

Наряду с рассмотренными выше сложными тренажерными системами, которые сочетают в себе некоторые элементы реального оборудования, специальные аппаратные средства, а также программное обеспечение имеются компьютерные тренажерные комплексы (без дополнительных стендов), использование которых также очень эффективно. Такие тренажеры, в которых используется цифровой контент в виртуальной среде, часто называют «виртуальными тренажерами» («виртуальными симуляторами») или VR-тренажерами (VR – сокращение от англ. virtual reality). Они представляют собой программные комплексы, которые позволяют осуществлять физические эксперименты на возможных моделях без прямого контакта с реальными установками.

В виртуальных тренажерах сам процесс показывается при помощи компьютерной графики – комплекса методов отображения каких-либо процессов во времени [3].

Авторами [4, 5] были обозначены следующие преимущества VR-тренажеров:

- высокая увлеченность процессом, так как есть возможность ощутить себя внутри технологии;
- высокая наглядность (информативность), так как при помощи виртуальных тренажеров можно рассмотреть любой процесс как в целом, так и в деталях (т. е. получить о нем максимальное представление);
- возможность разработать модель для конкретных учебных задач;
- интерактивность в процессе обучения, (с возможностью проходить повышение квалификации без отрыва от производства);
- сочетание теоретической и практической подготовки (а также контроль знаний);
- отсутствие значительных финансовых затрат на внедрение программы в производство и учебный процесс (VR-тренажеры для обучения могут себе позволить не только компании-гиганты, но и малый бизнес).

Примерами таких виртуальных симуляторов (VR-тренажеров) могут выступать компьютерные тренажерные комплексы (КТК), разработанные научно-производственной компанией ООО «Т-Софт» (Санкт-Петербург) для ОАО «Газпромнефть-ОНПЗ», АО «Газпромнефть-МНПЗ» и др. предприятий нефтегазовой отрасли, которые предназначены для решения следующих задач [1]:

- отработка навыков безопасного управления установкой в режимах пуска, останова, при возникнове-

нии штатных, нештатных и аварийных ситуаций;

- освоение технологического процесса начинающими операторами;
- детальный анализ технологических процессов операторами и инженерно-техническими работниками;
- изучение влияния различных параметров и управляющих воздействий на качественные и количественные показатели продукции.

Заслуживает внимания разработанный НПК «Техносервис» (г. Санкт-Петербург) программный комплекс «Учебные модели», в котором представлены динамические модели (например, ректификационных колонн, реакторного блока каталитического риформинга, печи, поршневого и центробежного компрессоров, теплообменного аппарата, абсорбера-десорбера, экстрактора и др.), предназначенные для углубленного изучения принципа работы отдельных процессов нефтепереработки.

После запуска выбранной программы учебного комплекса появляется главное окно, где представлена мнемосхема конкретного технологического процесса.

Регулируемые параметры выведены в окнах белого цвета. Изменение отдельных параметров осуществляется либо с клавиатуры, либо при помощи мыши.

Фиксаторы параметров позволяют в процессе работы модели сохранять в оперативной памяти мгновенные значения контролируемых параметров.

Кроме того, оперируя пунктами главного меню, предоставляется возможность:

- определить тенденцию изменения параметра и принять правильное решение по управлению процессом;
- наблюдать работу основного исследуемого объекта в динамике;
- изменять состав исходного сырья;
- сохранить состояние модели или загрузить одно из сохраненных состояний и др.

Программный комплекс «Учебные модели» может применяться для планирования, автоматизированного обучения и управления учебным процессом. Модели выполнены при помощи программной среды Adobe Flash и могут использоваться автономно или по локальной сети, в этом случае требуется создавать автоматизированные рабочие места (АРМ) администратора, преподавателя и обучаемого [2].

Другим примером интерактивных VR-тренажеров, имеющих сетевые версии, является разработанные в Университете ИТМО виртуальные контрольные и лабораторные работы (например, по курсам: «Гидравлика», «Механика жидкости и газа»), методические указания к ним, теоретические выкладки и тестирующие программы, выполненные с использованием программной среды Adobe Flash (разработчик И. И. Бриденко) [6].

Сетевая версия виртуального практикума предназначена для дистанционного обучения студентов, желающих заниматься самообразованием, в основном, для студентов заочной формы обучения. Она представляет собой учебный терминал с набором виртуальных контрольных, лабораторных и расчетных работ.

Работы, как правило, оснащены необходимыми теоретическими и методическими материалами. Общий порядок выполнения виртуальных интерактивных лабораторных работ [6]:

- ознакомление с методической частью и изучение теоретического материала;
- ответы на вопросы тестирующей программы и получение допуска к работе;
- практическое выполнение лабораторной работы, измерение необходимых величин;
- проведение расчетов, построение графиков;
- оформление отчета и передача его преподавателю.

Кроме сложных VR-тренажеров, представляющих собой компьютерные тренажерные программные комплексы, существуют интерактивные визуальные модели небольших технологических объектов. Такие анимационные модели представляют собой виртуальные аналоги имеющегося в реальности физического объекта, т. е. являются их цифровыми двойниками-прототипами (англ. digital twin prototype, DTP).

В качестве примера учебной анимационной модели можно привести компьютерную версию лабораторной работы «Определение коэффициента расхода нормальной диафрагмы» (программа Diaphragma, разработчик К. А. Карпов), созданную на основе фрагмента реально существующей уникальной установки для изучения гидромеханических процессов при помощи программной среды Adobe Flash [2].

Основная цель компьютерной модели Diaphragma — создать условия для использования достижений современной анимационной технологии и возможности применения эмпирических зависимостей сложных физических процессов для выполнения работы из лабораторного практикума. Кроме того, компьютерный вариант работы способствует более

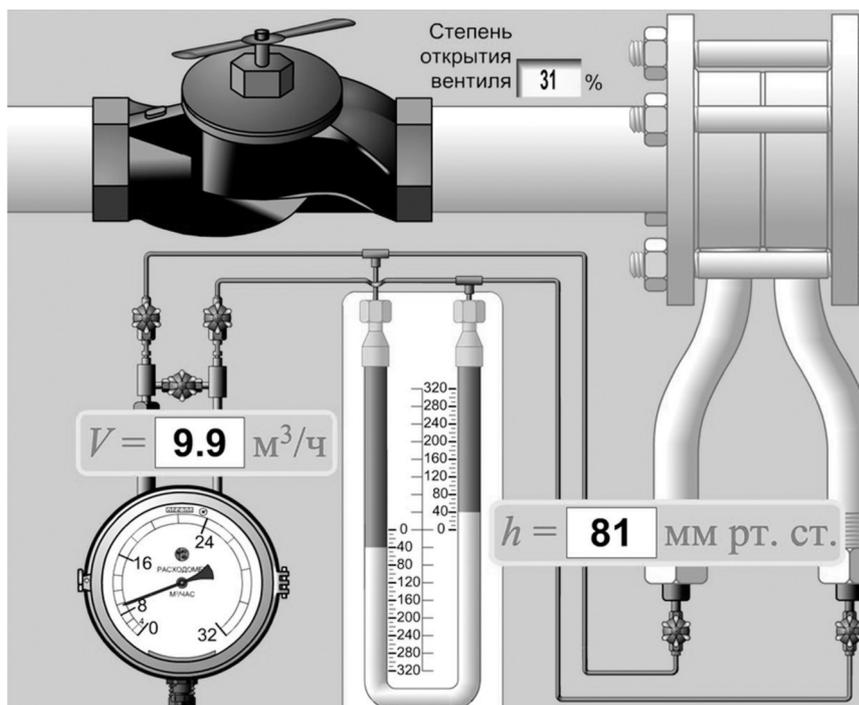
эффективному и наглядному восприятию информации о процессе движения жидкости через сужающее устройство, а также о приборах, относящихся к разряду U-образных дифференциальных манометров, используемых для измерения расхода жидкостей [2].

Программа Diaphragma может работать в нескольких режимах:

- «Теоретические основы» — ознакомление с устройством нормальной диафрагмы и с теоретическими основами процесса дросселирования жидкостей;
- «Описание установки» — ознакомление с лабораторной установкой и принципом действия применяемых в работе приборов (дифференциального манометра и дифманометрического расходомера);
- «Проведение работы» — выполнение лабораторной работы.

Первые два режима работы выполнены в виде презентации с использованием анимационных эффектов, т. е. на этом этапе представлены визуальные модели. Рисунки сделаны по чертежам из инструкции по монтажу и эксплуатации, прилагаемым к оборудованию. При использовании третьего режима программа Diaphragma позволяет создать полную имитацию работы реальной установки (рисунок), причем следует отметить, что моделирование процесса и приборов основано на построении эмпирических зависимостей, найденных исходя из экспериментальных данных при работе действующей лабораторной установки с помощью программы Microcal Origin (разработчик фирма Microcal Software, Inc., США).

В процессе использования программы Diaphragma учащиеся должны последовательно запускать основные режимы работы и внимательно читать каждую страницу презентации; это необходимо для получения



Программа Diaphragma, режим «Проведение работы»

всей информации для выполнения расчета и составления отчета по работе.

Программа Diaphragma была апробирована на студентах очного и заочного обучения в российских и зарубежных вузах, в том числе в СПбГЭУ, СПбГИКиТ, Университете ИТМО, СПбГУПТД, TalTech (Эстония) и др., а также при реализации программы повышения квалификации для сотрудников ПАО «Газпром» в Институте непрерывного образования СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Выше были рассмотрены примеры, когда виртуальные симуляторы и отдельные интерактивные модели различных технологических объектов были сделаны с использованием в качестве инструментов программных сред, предназначенных для решения широкого спектра разнообразных задач в различных областях деятельности (прикладной математике, физике, разработке Интернет-сайтов). Однако существуют специальные компьютерные программы, предназначенные только для технологического моделирования нефтегазохимических производств, т. е. могут служить для создания множества цифровых двойников реальных объектов.

В настоящее время на рынке существует достаточно большой выбор пакетов общего назначения (моделирующих программ), в основном зарубежных разработчиков, созданных для проведения технологических расчетов при инженерном анализе и проектировании. К их достоинствам можно отнести обширные базы данных и развитый графический интерфейс. Основными недостатками являются серьезные затраты на их приобретение и поддержку (десятки – сотни тысяч долларов США), ограничение набора аппаратов и механизмов расчетов только типовыми или идеализированными моделями.

Следует отметить, что существуют свободно распространяемые (бесплатные) моделирующие программы. Примерами таких специализированных программных продуктов, при помощи которых можно создавать цифровые двойники некоторых небольших технологических объектов и установок, могут выступать программы ChemSep и DWSIM.

ChemSep (разработчики: Г. Коойман и Р. Тейлор) – программа моделирования колонных аппаратов дистилляции, абсорбции и экстракции, имеющая простой и интуитивно понятный интерфейс, включает в себя как классическую модель колонны с равновесными ступенями, так и модель с неравновесными ступенями.

DWSIM (разработчики: Д. Вагнер, Г. Леон, Г. Райхерт) – симулятор химических процессов с

использованием современных термодинамических моделей, имитирует стационарное состояние, пар – жидкость, пар – жидкость – жидкость, твердое тело – жидкость и водные процессы электролита равновесия с термодинамическими моделями и отдельными операциями.

В заключение следует отметить, что согласно приказу Минобрнауки России № 816 от 23.08.2017 г. современный этап развития высшего образования предполагает внедрение в учебный процесс электронных образовательных ресурсов, позволяющих организовать образовательный процесс с использованием электронного обучения (ЭО) и дистанционных образовательных технологий (ДОТ), которые могут использоваться в процессе проведения лекционных, лабораторных, практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся [7].

Реализация программ повышения квалификации в СПбГЭТУ с использованием компьютерных тренажерных программных комплексов (например, «Учебные модели»), интерактивных визуальных моделей небольших технологических объектов (например, программы Diaphragma), а также специальных компьютерных программ для технологического моделирования (например, ChemSep и DWSIM) в онлайн-формате обучения, в условиях пандемии коронавируса (в 2020 и 2021 гг.), показала их эффективность и пригодность к применению в ДОТ.

## Выводы

Таким образом, на основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

1. VR-тренажеры, представляющие собой цифровой контент в виртуальной среде, в настоящее время находят все более широкое применение, благодаря отсутствию значительных финансовых затрат на их приобретение, настройку и обслуживание.
2. Использование в учебном процессе цифровых двойников небольших физических объектов показало их высокую эффективность, что было неоднократно подтверждено при проведении текущей и промежуточной аттестации студентов и слушателей курсов повышения квалификации.
3. Апробация VR-тренажеров и цифровых двойников технологических объектов в условиях вынужденного онлайн-обучения показала возможность их использования в качестве дистанционных образовательных технологий.

## Список использованных источников

1. А. В. Лебедев, К. А. Карпов. Инновационные подходы в сфере создания обучающих тренажерных комплексов//Современные проблемы менеджмента: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. СПб.: ООО «Скифия-принт», 2020. С. 118-122.
2. К. А. Карпов. Особенности применения тренажеров и компьютерного моделирования на предприятиях нефтегазохимического комплекса. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2013. 75 с.
3. Ф. Г. Рахманов. Применение имитационных виртуальных тренажеров в процессе профессионального обучения//Молодой ученый. 2015. № 9. С. 1173-1175.
4. А. В. Каменчиков, Е. С. Куликова, О. С. Кузьмин. Международные формы повышения привлекательности имиджа государства//Инновационное развитие экономики. 2020. № 2 (56). С. 117-121.
5. М. М. Волкова, Р. А. Манурова, Д. Н. Шайдуллина. Применение виртуальных тренажеров для обучения специалистов нефтегазовой отрасли//Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. № 4. С. 115-121.
6. Г. В. Алексеев, М. В. Бондарева, И. И. Бриденко, А. И. Шашкин. Механика жидкости и газа. Виртуальный лабораторный практикум: учебное пособие для вузов. 2-е изд. М.: Юрайт, 2023. 134 с.
7. В. В. Поливанов. Разработка и применение виртуальных тренажеров при дистанционном обучении//Современное образование: содержание, технологии, качество. 2019. Т. 1. С. 266-267.

## References

1. A. V. Lebedev, K. A. Karpov. Innovative approaches in the field of creating training simulator complexes//Proceedings of the Modern problems of management: 14th All-Russian Scientific and Practical Conference (St. Petersburg, Russia, April 23, 2020). St. Petersburg: Skiffija-print LLC, 2020. P. 118-122.
2. K. A. Karpov. Osobennosti primeneniya trenazherov i komp'yuternogo modelirovaniya na predpriyatiyah neftegazohimicheskogo kompleksa [Features of the use of simulators and computer simulation at the enterprises of the petrochemical complex]. St. Petersburg: Unecon, 2013.
3. F. G. Rahmanov. Primenenie imitacionnykh virtual'nykh trenazherov v processe professional'nogo obucheniya [Application of simulation virtual simulators in the process of professional training]//Molodoy uchenyj. 2015. № 9. P. 1173-1175.
4. A. V. Kamenchukov, E. S. Kulikova, O. S. Kuz'min. Mezhdunarodnye formy povysheniya privlekatel'nosti imidzha gosudarstva [International forms of increasing the attractiveness of the image of the state]//Innovacionnoe razvitie jekonomiki. 2020. № 2 (56). P. 117-121.
5. M. M. Volkova, R. A. Manurova, D. N. Shajdullina. Primenenie virtual'nykh trenazherov dlja obucheniya specialistov neftegazovoj otrasli [The use of virtual simulators for training oil and gas industry specialists]//Vestnik Tehnologicheskogo universiteta. 2019. Vol. 22. № 4. P. 115-121.
6. G. V. Alekseev, M. V. Bondareva, I. I. Bridenko, A. I. Shashkin. Mehanika zhidkosti i gaza. Virtual'nyj laboratornyj praktikum [Mechanics of liquid and gas. Virtual Lab]. 2nd ed. Moscow: Jurajt, 2023.
7. V. V. Polivanov. Razrabotka i primenenie virtual'nykh trenazherov pri distancionnom obuchenii [Development and application of virtual simulators in distance learning]//Sovremennoe obrazovanie: sodержanie, tehnologii, kachestvo. 2019. Vol. 1. P. 266-267.