

DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-2-159-168>

Создание виртуальной технологической лаборатории и организация обучения при подготовке кадров высшей квалификации

Немтинов Владимир Алексеевич – д-р техн. наук, проф., кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении». E-mail: nemtinov.va@yandex.ru

Манаенков Иван Михайлович – специалист, инженер кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении». E-mail: kafedra@mail.gaps.tstu.ru

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

Адрес: 392000 г. Тамбов, ул. Советская, 106

Немтинова Юлия Владимировна – канд. экон. наук, доцент кафедры «Менеджмент, маркетинг и реклама». E-mail: jnemtinova@hotmail.com

Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, Тамбов, Россия

Адрес: 392000 г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33

Аннотация. Описана технология виртуального моделирования, используемая в качестве инструмента повышения качества инженерного образования. Авторами предлагается подход к созданию прототипа виртуальной технологической лаборатории по изучению процессов производства органических красителей в программной среде системы vAcademia. При создании лаборатории использована базовая среда программирования vAcademia. Для создания элементов лаборатории использованы инструменты различных систем: двух- и трёхмерные системы проектирования SketchUp, AutoCAD, КОМПАС-3D; графические и видеоредакторы: Adobe Photoshop, The GIMP, Photoscape, Windows Movie Maker, SONY Vegas Pro; визуальный инструмент моделирования динамических систем SIMUL8; программное обеспечение для работы с таблицами и текстом Microsoft Office. Виртуальная лаборатория создана в целях имитации реальной лабораторной среды и производимых в ней процессов, а также для моделирования учебной среды, в которой студенты трансформируют свои теоретические знания в практические умения и навыки. Выполнены тестовые исследования по оценке качества образования с использованием разработанной коммуникативной и образовательной среды в виде виртуального пространства технологической лаборатории по изучению процессов производства органических красителей.

Ключевые слова: качество инженерного образования, виртуальная лаборатория, моделирование технологических процессов, информационно-логические модели, имитационные модели

Для цитирования: Немтинов В.А., Манаенков И.М., Немтинова Ю.В. Создание виртуальной технологической лаборатории и организация обучения при подготовке кадров высшей квалификации // Высшее образование в России. 2020. Т. 29. № 2. С. 159-168.

DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-2-159-168>

Введение

Под виртуальной реальностью понимают новую концепцию использования современных вычислительных систем и человеко-ма-

шинного интерфейса с целью получения эффекта трёхмерного окружения, в котором у пользователя появляется возможность в интерактивном режиме взаимодействовать

с виртуальными объектами, благодаря чему создаётся ощущение присутствия [1].

Первые виртуальные лаборатории возникли в 1990-е гг. В широком смысле под виртуальной лабораторией мы подразумеваем лабораторию (учебную аудиторию) как информационный ресурс, созданный средствами современных компьютерных технологий и представляющий в виртуальном пространстве оцифрованные версии объектов определённого тематического назначения [2].

На сегодня существует множество разных виртуальных миров, которые имеют шесть признаков [3]:

- совместное пространство: участвовать в жизни мира могут одновременно много пользователей;

- графический пользовательский интерфейс: пространство в мире отражено виртуально и варьируется по стилю от «мультипликационного» 2D-изображения до впечатляющих 3D-изображений;

- оперативность: общение происходит в режиме реального времени;

- интерактивность: мир позволяет участнику изменять, развивать, строить или принимать содержание, подобранное специально для него;

- постоянство: существование мира продолжается независимо от того, находятся ли отдельные пользователи в системе;

- общение / общество: мир содействует формированию социальных групп внутри мира, таких как команды, гильдии, клубы, клики, соседства, комьюнити и т.д.

В настоящее время понятие «виртуальная технологическая лаборатория» обозначает программно-аппаратный комплекс, позволяющий проводить опыты без непосредственного контакта с реальной установкой или при полном отсутствии таковой. Таким образом, виртуальные лаборатории определяются двумя различными типами программно-аппаратных комплексов:

- лабораторная аудиторная установка с удалённым доступом – дистанционные лаборатории;

- программное обеспечение, позволяющее моделировать лабораторные опыты, – виртуальные лаборатории.

Если сравнивать виртуальные и реальные лаборатории, можно выделить следующие преимущества первых:

- для проведения разного рода лабораторных работ нет необходимости приобретать дорогое оборудование. В результате недостаточного финансирования в большинстве лабораторий установлено старое оборудование, которое может давать неточные результаты опытов или искажать их и служить потенциальным источником опасности для обучающихся. Помимо этого, существуют области, где для оборудования необходимо закупать расходные материалы, цены на которые достаточно высоки. Несмотря на то что программное обеспечение и компьютерное оборудование также стоят недёшево, их широкая распространённость и универсальность компьютерной техники компенсируют этот недостаток;

- возможность моделирования большого набора процессов, протекание которых затруднительно в реальных лабораторных условиях;

- безопасность – ещё одна немаловажная причина и преимущество использования виртуальных лабораторий, особенно в тех случаях, когда работа идёт с опасными материалами и высоковольтными устройствами;

- подробное и многостороннее представление (визуализация) на компьютере. В настоящее время современные компьютерные технологии позволяют увидеть и пронаблюдать в динамике процессы, которые трудно различить в реальных условиях без использования специализированной техники;

- возможность «масштабирования» времени. Это означает, что проводящий опыт или лабораторную работу может наблюдать в замедленном режиме процесс, протекающий в очень короткое (в долях секунды) время или, напротив, ускорить процесс, длящийся в течение нескольких лет, и это, в свою очередь, даёт возможность глубже проникать в тонкости процессов;

– благодаря тому, что при моделировании виртуального процесса управление осуществляется через компьютер, появляется возможность проведения множества опытов с разными значениями входных параметров, необходимых для определения необходимого результата.

Виртуальные лаборатории создаются в целях имитации реальной лабораторной среды и производимых в ней процессов, а также для моделирования учебной среды, в которой студенты трансформируют свои теоретические знания в практические знания и навыки экспериментальным путём. Виртуальные лаборатории могут давать обучающимся значимые виртуальные ощущения, с помощью которых появляется возможность повторить любой неудавшийся эксперимент или расширить познания в практической части. Кроме преимуществ в получении результатов, интерактивный характер таких методов обучения обеспечивает интуитивно понятную и приятную среду обучения и взаимодействия с виртуальной лабораторией [4–7].

В работах [8; 9] представлены методы электронной поддержки процесса профессионального обучения на трёх уровнях повышения квалификации, которые могут быть полезны для подготовки кадров в соответствии с концепцией Индустрии 4.0 и стратегией Европа-2020. Авторы представляют применение анимационных программ, которые являются вспомогательными для обучения программированию с ЧПУ. Они сравнивают способ обучения с использованием реальных панелей для оператора, которые являются частями отдельной машины и анимационной программы. В статьях показаны разработанные авторами реальные дидактические стенды для электронного обучения в виртуальной лаборатории. Авторами работы [10] рассматривается технология моделирования и визуализации трёхмерных виртуальных консолей с использованием элементов виртуальной реальности. В статье [11] представлен опыт совместной работы

кафедры “Теоретическая и экспериментальная физика ядерных реакторов” и учебно-научной лаборатории “Научная визуализация” Национального исследовательского ядерного университета МИФИ по разработке программных средств визуального анализа и наглядной иллюстрации лабораторной работы и теоретического исследования, посвящённого технологическому процессу атомных электростанций. Дается краткое описание разработанных приложений для визуального анализа и иллюстрации используемых при их проектировании компонентов комплекса научной визуализации.

В нашей работе рассмотрены вопросы создания прототипа виртуальной технологической лаборатории по изучению процессов производства органических красителей, предназначенной для использования в образовательном процессе при подготовке специалистов химико-технологического профиля. В качестве базовой программной среды использовано программное обеспечение системы Academia.

Возможности виртуальной образовательной среды vAcademia

Виртуальная среда vAcademia – это образовательный трёхмерный виртуальный мир, который по сравнению с другими виртуальными мирами имеет два главных достоинства:

- это специализированный мир для образования, а значит, в нём есть всё, что необходимо для преподавателя и студентов на занятии: интерактивные доски, презентации, указки, веб-камеры, системы опроса, модели учебных объектов и т.д.;

- в vAcademia реализована возможность записывать занятия, в результате чего получаются 3D-записи, которые являются точной копией проведённых живых занятий. Эти записи можно посещать как обычные занятия, индивидуально или группой. Однако, в отличие от живых занятий, записи можно редактировать. Можно поправить занятие, удалив лишнее, или, наоборот, дополнить его новым содержанием [1–4; 12].

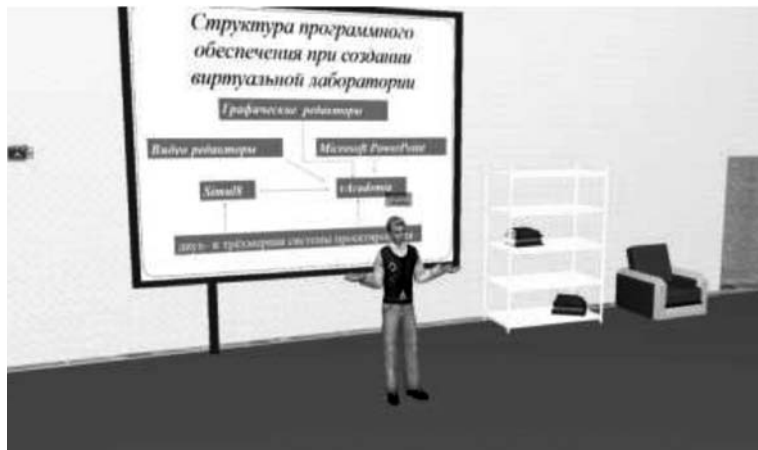


Рис. 1. Фрагмент трансляции презентации лаборатории на виртуальной доске
Fig. 1. Fragment of lab presentation translation on a virtual board

Виртуальная среда предоставляет возможность проведения учебных занятий в виде лекций, презентаций, семинаров, практических занятий, симуляций и серьёзных игр, круглых столов, тренингов, образовательных квестов. vAcademia поддерживает возможность проведения занятий для групп, включающих до 50 пользователей одновременно, при этом каждый пользователь в виртуальной среде представлен своим виртуальным воплощением (аватаром).

Прототип виртуальной технологической лаборатории по изучению процессов производства органических красителей

Прототип виртуальной технологической лаборатории по изучению процессов производства органических красителей предназначен для использования в образовательном процессе при подготовке специалистов химико-технологического профиля [13; 14].

Для создания элементов лаборатории использованы инструменты различных систем:

- 1) двух- и трёхмерные системы проектирования: SketchUp, AutoCAD, КОМПАС-3D;
- 2) графические и видеоредакторы: Adobe Photoshop, The GIMP, Photoscape, Windows Movie Maker, SONY Vegas Pro;
- 3) визуальный инструмент моделирования динамических систем SIMUL8;

4) программное обеспечение для работы с таблицами и текстом Microsoft Office.

Техническое оснащение, которое размещено в виртуальной лаборатории, включает в себя основное и вспомогательное оборудование для реализации процессов органического синтеза: аппараты с мешалками, ёмкости, насосы и т.п. [15; 16].

На рисунке 1 показана трансляция презентации, которую можно смотреть с помощью виртуальной доски; перелистывание слайдов происходит как автоматически, так и вручную.

В настоящее время многие промышленные производства представляют собой сложные динамические системы, характеризующиеся высоким уровнем неопределённости исходной информации и сложностью их поведения. Для решения многих проблем, связанных с управлением такими системами, а также для облегчения работы операторов и технологов химико-технологических систем можно использовать имитационное моделирование [17–19]. Для исследования технологических процессов промышленных производств применяются системы, позволяющие имитировать реальные процессы [20–22]. Компьютерная имитационная модель является удобным для системного анализа вспомогательным средством для ис-

следования химико-технологических объектов. Главным преимуществом имитационного моделирования является то, что эксперт может ответить на вопрос: «Что будет, если ...», т.е. с помощью эксперимента на модели выработать стратегию исследования.

В основе создания имитационных моделей лежат информационно-логические модели (ИАМ), описывающие условия протекания технологических процессов. В общем виде ИАМ-поддержка принятия решений при исследовании химико-технологического объекта представляет собой объединение множеств данных и связей между ними, записанных в виде правил. Отдельное продукционное правило (ПМ), содержащееся в базе знаний, состоит из двух частей: антецедента и консеквента. Антецедент представляет собой посылку правила (условную часть) и состоит из элементарных предложений, соединённых логическими связками «и, или». Консеквент (заключение) включает одно или несколько предложений, которые выражают либо некоторый факт, либо указание на определённое действие, подлежащее исполнению [15].

Таким образом, ИАМ представлена следующим кортежем [23–25]:

$$M = D, P, D = (d_1 \dots, d_i \dots, d_N), \\ P = (p_1 \dots, p_j \dots, p_S),$$

где M – оператор ИАМ; $d_1 \dots, d_i \dots, d_N$ – множество данных ИАМ; $p_1 \dots, p_j \dots, p_S$ – множество правил.

Продукционные правила, входящие в состав модели, построены по типу импликации: если ... (условия выполняются), то ... (следствия реализуются).

В нашей работе предложена технология создания имитационных моделей на примере технологических процессов многоассортиментных химических производств, использующая возможности применения системы SIMUL8 для оперативного управления выпуском целевой продукции. Основными стадиями технологии являются: формирование библиотеки данных технологических режимов; создание графических образов элементов

технологических схем процессов, разработка имитационной модели в среде SIMUL8 [26–27]. Реализуя предложенную технологию разработки имитационных моделей технологических процессов химических производств с использованием системы моделирования дискретных процессов SIMUL8, была создана библиотека моделей производств полупродуктов и красителей в частности: пигмента алого 2С, пигмента ярко-красного 4Ж, пигмента хромового чёрного О, лака ПФ-060, 3-оксихинальдин-4-карбоновой кислоты, 3-оксихинофталона, акририла МЭК и т.д.

Таким образом, авторами создана образовательная среда по изучению технологических процессов производств органических красителей.

В соответствии с известными методиками оценки качества и эффективности образования [28] были выполнены тестовые исследования по оценке качества образования с использованием разработанной коммуникативной среды в виде виртуального пространства технологической лаборатории. По результатам анализа сделан вывод о том, что созданное виртуальное пространство образовательной среды и среды коммуникативного общения способствует повышению качества знаний студентов.

Заключение

При проведении исследований по моделированию процессов производства органических красителей разработан прототип виртуальной технологической лаборатории, предназначенной для использования в образовательном процессе при подготовке специалистов химико-технологического профиля. При создании лаборатории использована базовая среда программирования vAcademia. Для создания элементов лаборатории использованы инструменты различных систем: двух- и трёхмерные системы проектирования SketchUp, AutoCAD, КОМПАС-3D; графические и видеоредакторы Adobe Photoshop, The GIMP, Photoscape, Windows Movie Maker, SONY Vegas Pro; ви-

зуальный инструмент моделирования динамических систем SIMUL8; программное обеспечение для работы с таблицами и текстом Microsoft Office.

Виртуальная лаборатория создана в целях имитации реальной лабораторной среды и производимых в ней процессов, а также для моделирования учебной среды, в которой студенты трансформируют свои теоретические знания в практические знания и навыки экспериментальным путём.

Литература

1. *Fominykh M., Prasolova-Forland E., Hokstad L.M., Morozov M.* Repositories of Community Memory as Visualized Activities in 3D Virtual Worlds // Ralph, H., Sprague, J. (Eds). 47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Waikoloa, HI, USA, January 6–9, 2014, IEEE. P. 678–687.
2. *Smorkalov A., Fominykh M., Morozov M.* Stream Processors Texture Generation Model for 3D Virtual Worlds: Learning Tools in vAcademia // Lin, Q., Muhlhauser, M., Sheu, P. (Eds). 9th International Symposium on Multimedia (ISM), Anaheim, CA, USA, December 9–11, 2013, IEEE. P. 17–24.
3. *Smorkalov A., Fominykh M., Morozov M.* Collaborative Work with Large Amount of Graphical Content in a 3D Virtual World: Evaluation of Learning Tools in vAcademia // 16th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL), Kazan, Russia, September 25–27, 2013, IEEE. P. 303–331.
4. Что такое «Виртуальный Мир»? // WORLD2.RU. 2008. 22.01. URL: <http://world2.ru/story/680.html>
5. *Шейнбаум В.С., Пятибратов П.В., Хохлова М.С., Гришин Д.В., Пельменёва А.А.* Обучение студентов в виртуальной среде профессиональной деятельности на примере междисциплинарного тренинга // Инженерное образование. 2016. № 20. С. 178–187.
6. *Шейнбаум В.С.* Междисциплинарное деятельностное обучение в виртуальной среде профессиональной деятельности: состояние, перспективы // Высшее образование России. 2017. № 11. С. 61–68.
7. *Шейнбаум В.С.* Компетенция «умение работать в команде» и её развитие с использованием технологии междисциплинарного обучения в виртуальной среде профессиональной деятельности // Высшее образование сегодня. 2018. № 2. С. 2–8. DOI: 10.25586/RNU. HET.18.02.P.02
8. *Kowalik D., Rusyn B.* Innovative Vocational Didactics Aimed at the Preparation of Staff According to Industry 4.0 and Europe 2020 // DEStech Transactions on Social Science Education and Human Science: 4th International Conference on Education Reform and Modern Management, Thailand, Aug 06–07, 2017. P. 12–17.
9. *Smorkalov A., Morozov M., Fominykh M.* Virtualizing Real-Life Lectures with vAcademia, Kinect, and iPad // Communications in Computer and Information Science. 2014. Vol. 435. Part II. P. 156–161.
10. *Mikbaylyuk M.V., Torgashev M.A.* Modeling and visualization of 3D virtual consoles in simulators // Scientific Visualization. 2014. Vol. 6. No. 4. P. 50–60.
11. *Tikhomirov G., Saldikova I., Malikova E., Kuchenkova L., Pilyugin V.* NRNU MEPhI experience in development and application of visualization software in nuclear power plants education // Scientific Visualization. 2012. Vol. 4. No. 2. P. 57–63.
12. Виртуальный образовательный мир vAcademia. URL: <http://vacademia.com/wiki/doku.php>
13. *Краснянский М.Н., Попов А.И., Обухов А.Д.* Математическое моделирование адаптивной системы управления профессиональным образованием // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2017. Т. 23. № 2. С. 196–208. DOI: 10.17277/vestnik.2017.01
14. *Кутцов А.И., Кутцов С.А., Хайруллин Р.З., Богач В.В.* Разработка и использование технологий виртуальной реальности в процессах обучения // Вестник Казанского технологического университета. 2016. № 4 (19). С. 100–101.
15. *Мокрозуб В.Г.* Графовые структуры и реляционные базы данных в автоматизированных интеллектуальных информационных системах. М.: Спектр, 2011. 108 с.
16. *Немтинов В.А., Мокрозуб В.Г., Пахомов П.И., Немтинов К.В.* Моделирование объектов коммунальных систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 7. С. 35–39.

17. Немтинов В.А., Карпушкин С.В., Мокрозуб В.Г., Немтинова Ю.В. Виртуальное моделирование химико-технологических систем. Со-стояние проблемы. Тамбов: Изд-во ТГУ им. Г.Р. Державина, 2010. 236 с.
18. Немтинов В.А., Карпушкин С.В., Мокрозуб В.Г., Немтинова Ю.В. Методы и алгоритмы создания виртуальных моделей химико-технологических схем. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2011. 282 с.
19. Немтинов В.А., Карпушкин С.В., Мокрозуб В.Г., Немтинова Ю.В. Прототип виртуальной модели учебно-материальных ресурсов универ-ситета химико-технологического профиля. Там-бов: Изд-во ТГУ им. Г.Р. Державина, 2012. 436 с.
20. Борисенко А.Б., Карпушкин С.В. Иерархия задач аппаратного оформления техноло-гических систем многоассортиментных хими-ческих производств // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2014. № 3. С. 113–123.
21. Немтинов В.А., Салущева А.В., Бубнов А.А. Виртуальное моделирование объектов систе-мы подготовки воды // Вестник Тамбовского государственного технического университе-та. 2011. Т. 17. № 2. С. 445–448.
22. Мокрозуб В.Г., Малыгин Е.Н., Карпушкин С.В. Постановка задачи разработки матема-тического и информационного обеспечения процесса проектирования многоассорти-ментных химических производств // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2017. Т. 23. № 2. С. 252–254. DOI: 10.17277/vestnik.2017.01
23. Мокрозуб В.Г., Немтинов В.А., Егоров С.Я. Информационно-логические модели техни-ческих объектов и их представление в инфор-мационных системах // Информационные технологии в проектировании и производ-стве. 2010. № 3. С. 68–73.
24. Мокрозуб В.Г., Малыгин Е.Н., Карпушкин С.В. Системный анализ процессов принятия реше-ний при разработке технологического оборудо-вания // Вестник Тамбовского государствен-ного технического университета. 2017. Т. 23. № 3. С. 364–373. DOI: 10.17277/vestnik.2017.03
25. Немтинов В.А., Немтинова Ю.В. Использо-вание системы моделирования динамических процессов для оперативного управления про-мышленным производством // Химическая промышленность сегодня. 2007. № 7. С. 43–48.
26. Немтинов В.А., Манаенков А.М., Морозов В.В., Егоров Е.С. Использование интернета при информационной поддержке принятия решений по управлению промышленным предприятием // Прикладная информатика. 2010. № 4 (28). С. 8–12.
27. Немтинов В.А., Немтинова Ю.В., Русских Д.С. Оперативное управление выпуском про-дукции с использованием системы модели-рования динамических процессов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2007. Т. 13. № 2. С. 372–378.
28. Аршинский Л.В., Пугачев А.А. Программный комплекс диагностики знаний TEACHLAB в TESTMASTER // Информатика и образова-ние. 2002. № 7. С. 68–74.

Статья поступила в редакцию 25.09.19

После доработки 11.11.19

Принята к публикации 30.12.19

Creation of a Virtual Technology Laboratory and Organization of Training for Highly Qualified Personnel

Vladimir A. Nemtinov – Dr. Sci. (Engineering), Prof., Prof. of the Department “Computer-integrated systems in mechanical engineering”, e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

Ivan M. Manaenkov – specialist, engineer of the Department “Computer-integrated systems in mechanical engineering”, e-mail: kafedra@mail.gaps.tstu.ru

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

Address: 392000 Tambov, ul. Soviet, 106

Yulia V. Nemtinova – Cand. Sci. (Economics), Assoc. Prof., the Department of “Management, marketing and advertising”, e-mail: jnemtinova@hotmail.com

Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia

Address: 392000 Tambov, International'naya str., 33

Abstract. The article describes the technology of virtual modeling which is used as a tool to improve the quality of engineering education. The authors propose an approach to the creation of a virtual technological laboratory prototype for studying the processes of organic dyes production in vAcademia software environment. The basic programming environment vAcademia was used to create the laboratory. To create the elements of the laboratory, the tools of various systems were used such as two- and three-dimensional design systems SketchUp, AutoCAD, COMPASS-3D; graphic and video editors: Adobe Photoshop, the GIMP, Photoscape, Windows Movie Maker, SONY Vegas Pro; visual simulation tool for dynamic systems SIMUL8; software for working with tables and text Microsoft Office. The virtual laboratory was created in order to simulate the real laboratory environment and the processes produced in it, as well as to simulate the learning environment in which students transform their theoretical knowledge into practical skills. The test researches on an assessment of the quality of education, with use of the developed communicative and educational environment in the form of virtual space of technological laboratory on studying of processes of production of organic dyes, showed its increase by 15,6%.

Keywords: quality of engineering education, virtual laboratory, vAcademia software environment, modeling of technological processes, imitation models

Cite as: Nemtinov, V.A., Manaenkov, I.M., Nemtinova, Yu.V. (2020). Creation of a Virtual Technology Laboratory and Organization of Training for Highly Qualified Personnel. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. Vol. 29, no. 2, pp. 159-168. (In Russ., abstract in Eng.)

DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-2-159-168>

References

1. Fominykh, M., Prasolova-Forland, E., Hokstad L.M., Morozov, M. (2014). Repositories of Community Memory as Visualized Activities in 3D Virtual Worlds. In: Ralph, H., Sprague, J. (Eds). *47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Waikoloa, HI, USA, January 6-9, IEEE, pp. 678-687.
2. Smorkalov, A., Fominykh, M., Morozov, M. (2013). Stream Processors Texture Generation Model for 3D Virtual Worlds: Learning Tools in vAcademia. In: Lin, Q., Muhlhauser, M., Sheu, P. (Eds). *9th International Symposium on Multimedia (ISM)*, Anaheim, CA, USA, December 9-11, IEEE, pp. 17-24.
3. Smorkalov, A., Fominykh, M., Morozov, M. (2013). Collaborative Work with Large Amount of Graphical Content in a 3D Virtual World: Evaluation of Learning Tools in vAcademia. In: *16th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, Kazan, Russia, September 25-27, IEEE, pp. 303-331.
4. *Chto takoe «Virtual'nyy Mir»?* (2008). [What is the “Virtual World”?] WORLD2.RU. 22.01. Available at: <http://world2.ru/story/680.html> (In Russ.)
5. Sheinbaum, V.S., Pyatibratov, P.V., Khokhlova, M.S., Grishin, D.V., Pel'menyova, A.A. (2016) Professional Activities in Virtual Learning Environment: Interdisciplinary Training Case Study. *Inzhenernoe obrazovanie = Engineering Education*. No. 20, pp. 178-187. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Sheinbaum, V.S. (2017). Interdisciplinary Activity Training in Virtual Engineering Environment: An Actual State and Prospects. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. No. 11, pp. 61-68. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Sheinbaum, V.S. (2018). Competence “Teamwork Ability” and Its Development Using the Technology of Interdisciplinary Training in a Virtual Environment of Professional Activity. *Vysshee obrazovanie segodnya = Higher Education Today*. No. 2, pp. 2-8. (In Russ., abstract in Eng.)

8. Kowalik, D., Rusyn, B. (2017). Innovative Vocational Didactics Aimed at the Preparation of Staff According to Industry 4.0 and Europe 2020. In: *DEStech Transactions on Social Science Education and Human Science: 4th International Conference on Education Reform and Modern Management*, Thailand, Aug 06-07, pp. 12-17.
9. Smorkalov, A., Morozov, M., Fominykh, M. (2014). Virtualizing Real-Life Lectures with vAcademia, Kinect, and iPad. *Communications in Computer and Information Science*. Vol. 435, part II, pp. 156-161.
10. Mikhaylyuk, M.V., Torgashev, M.A. (2014). Modeling and Visualization of 3D Virtual Consoles in Simulators. *Scientific Visualization*. Vol. 6, no. 4, pp. 50-60.
11. Tikhomirov, G., Saldikova, I., Malikova, E., Kuchenkova, L., Pilyugin, V. (2012). NRNU MEPhI Experience in Development and Application of Visualization Software in Nuclear Power Plants Education. *Scientific Visualization*. Vol. 4, no. 2, pp. 57-63.
12. *Virtual'niy obrazovatel'niy mir vAcademia* (2014). [Virtual Educational World vAcademia]. Available at: <http://vacademia.com/wiki/doku.php> (In Russ.)
13. Krasnyansky, M.N., Popov, A.I., Obukhov, A.D. (2017). Mathematical Modeling of Adaptive Management System of Professional Education. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transactions of TSTU*. Vol. 23, no. 2, pp. 196-208. DOI: 10.17277/vestnik.2017.01. (In Russ., abstract in Eng.)
14. Kuptsov, A.I., Kuptsov, S.A., Khairullin, R.Z., Bogach, V.V. (2016). [Development and Use of Virtual Reality Technologies in Learning Processes]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Kazan Technological University*. No. 4 (19), pp. 100-101. (In Russ.)
15. Mokrozub, V.G. (2011). *Grafovye struktury i relyatsionnye bazy dannykh v avtomatizirovannykh intellektual'nykh informatsionnykh sistemakh* [Graph Structures and Relational Databases in Automated Intelligent Information Systems]. Moscow: Spectrum Publ., 108 p. (In Russ.)
16. Nemtinov, V.A., Mokrozub, V.G., Pakhomov, P.I., Nemtinov, K.V. (2010). Modeling of Utility System Objects. *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy = Herald of Computer and Information Technologies*. No. 7, pp. 35-39. (In Russ., abstract in Eng.)
17. Nemtinov, V.A., Karpushkin, S.V., Mokrozub, V.G., Nemtinova, Yu.V. (2010). *Virtual'noe modelirovaniye khimiko-tekhnologicheskikh sistem. Sostoyaniye problemy* [Virtual Modeling of Chemical-Technological Systems. State of the Problem]. Tambov: Derzhavin Tambov State Univ. Publ., 236 p. (In Russ.)
18. Nemtinov, V.A., Karpushkin, S.V., Mokrozub, V.G., Nemtinova, Yu.V. (2011). *Metody i algoritmy sozdaniya virtual'nykh modeley khimiko-tekhnologicheskikh skhem* [Methods and Algorithms for Creating Virtual Models of Chemical-Technological Schemes]. Tambov: Derzhavin Tambov State Univ. Publ., 282 p. (In Russ.)
19. Nemtinov, V.A., Karpushkin, S.V., Mokrozub, V.G., Nemtinova, Yu.V. (2012). *Prototip virtual'noy modeli uchebno-material'nykh resursov universiteta khimiko-tekhnologicheskogo profilya* [Prototype of a Virtual Model of Educational and Material Resources of the University of Chemical and Technological Profile]. Tambov: Derzhavin Tambov State Univ. Publ., 436 p. (In Russ.)
20. Borisenko, A.B., Karpushkin, S.V. (2014). Hierarchy of Processing Equipment Configuration Design Problems for Multiproduct Chemical Plants. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. Vol. 53, no. 3, pp. 410-419.
21. Nemtinov, V.A., Salushecheva, A.V., Bubnov, A.A. (2011). Virtual Simulation of Water Treatment Facilities. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transactions of TSTU*. Vol. 17, no. 2, pp. 445-448. (In Russ., abstract in Eng.)

22. Mokrozub, V.G., Malygin, E.N., Karpushkin, S.V. (2017). Statement of the Problem of Mathematical and Information Support for the Design of Multi-Product Chemical Plants. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transactions of TSTU*. Vol. 23, no. 2, pp. 252-254. DOI: 10.17277/vestnik.2017.01 (In Russ., abstract in Eng.)
23. Mokrozub, V.G., Nemtinov, V.A. Egorov, S.Ya. (2010). Information-Logical Models of Technical Facilities and Their Representation in Information Systems. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve = Information Technology of CAD/CAM/CAE*. No. 3, pp. 68-73. (In Russ., abstract in Eng.)
24. Mokrozub, V.G., Malygin, E.N., Karpushkin, S.V. (2017). System Analysis of Decision-Making Processes in the Development of Technological Equipment. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transactions of TSTU*. Vol. 23, no. 3, pp. 364-373. DOI: 10.17277/vestnik.2017.03. (In Russ., abstract in Eng.)
25. Nemtinov, V.A., Nemtinova, Yu.V. (2007). Using the Simulation of Dynamic Processes for the Operational Management of Industrial Production. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya = Chemical Industry Today*. No. 7, pp. 43-48. (In Russ., abstract in Eng.)
26. Nemtinov, V.A., Manaenkov, A.M., Morozov, V.V., Egorov, E.S. (2010). [Using Internet with Information Support of Decision Making on Industrial Enterprise Management]. *Prikladnaya informatika = Journal of Applied Informatics*. No. 4 (28), pp. 8-12. (In Russ.)
27. Nemtinov, V.A., Nemtinova, Yu.V., Russkikh, D.S. (2007). Administrating Control over Production Output Using the System of Modeling Dynamic Processes. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transactions of TSTU*. Vol. 13, no. 2, pp. 372-378. (In Russ., abstract in Eng.)
28. Arshinsky, L.V., Pugachev, A.A. Program Complex for Diagnostics of Knowledge TEACHLAB in TESTMASTER. *Informatika i obrazovanie = Informatics and Education*. No. 2, pp. 68-74. (In Russ.)

The paper was submitted 25.09.19

Received after reworking 11.11.19

Accepted for publication 30.12.19