

УДК 658.514; 614.8.084

**ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ  
СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ТРУБОПРОВОДНОГО  
ТРАНСПОРТА**

**INNOVATION IN TECHNICAL TRAINING OF PIPELINE  
TRANSPORTATION SPECIALISTS**

Мугаллимов Ф.М., Кудрявцев А.А.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»  
г. Уфа, Российская Федерация

F.M. Mugallimov, A.A. Kudryavtsev

FSBEI NPE “Ufa state petroleum technological university”, Ufa, Russian Federation

e-mail: info@vostokoil.ru

**Аннотация.** В статье описывается концепция разработки и построения технических средств обучения, предназначенных для обучения специалистов трубопроводного транспорта нефти. Рассмотрены существующие подходы к созданию средств обучения, такие как: физические модели технологических объектов, математические модели и тренажеры на их основе, макеты, действующие приборные стенды, наглядные пособия, виртуальные пространственные модели. Выделены их сильные и слабые стороны. Рассмотрена архитектура построения современных тренажерных комплексов и виды средств обучения. Выдвинуты требования, которым должен отвечать современная интерактивная обучающая система с учетом принципов восприятия учебного материала (визуальные, аудиальные, пространственные и знако-символьные способы восприятия). В качестве примера рассмотрена интегрированная обучающая система «Трубопроводный транспорт нефти», внедренная в Самарском государственном нефтяном техническом университете.

**Abstract.** This paper describes the concept of development and building of technical training designed to train professionals oil pipeline transportation. The existing approaches to the creation of learning tools, such as physical models of technological objects, mathematical models and simulators based on them, models, operating instrument displays, visual aids, virtual three-dimensional models. Identified their strengths and weaknesses. The architecture building modern training systems and types of training aids. Put forward the requirements to be met by a modern interactive teaching system based on the principles of perception of educational material (visual, auditory, spatial and sign-symbolic ways of perception). As an example, the integrated

learning system "Pipeline transportation of oil" introduced in Samara State Oil Technical University.

**Ключевые слова:** трубопроводный транспорт, интегрированная обучающая система, тренажер, средства визуализации, модели, макеты.

**Keywords:** pipeline transport, integrated learning system simulator, visualization tools, models, mock-ups.

В настоящий момент развитие экономики России тесно связано с развитием ТЭК, характеризующимся большой плотностью производств и транспортных потоков энергоносителей. Девяностые годы оставили в наследство увеличение износа этого оборудования, а значит и повышение требований к качеству обслуживания при снижении общего уровня образования. Слабая техническая оснащенность учебного процесса, сопутствующий менталитет получившего такое образование среднего руководящего звена (и инструкторов) закрепляют негативные тенденции. Кроме долгосрочных экономических последствий, это может непосредственно повлиять на промышленную безопасность и экологическую обстановку.

В отличие от стран с низким уровнем развития и образования, в нашей стране существует развитая сеть образовательных учреждений с инфраструктурой и преподавательским составом, регулярно получающим заработную плату. С учетом того, что средства на обучения выделяются немалые, расчетная себестоимость часа обучения персонала ТЭК с использованием сложных технических средств увеличивается, как показывают несложные расчеты, менее чем на 5%. *Именно они отличают устаревшее и неэффективное образование от современного.*

Среди руководителей ТЭК наблюдается явная недооценка этого фактора повышения промышленной безопасности. Отчасти это связано с традицией «Зачем это надо? Мы ведь и без этого такие умные!», отчасти с отсутствием эффективных технических решений, отчасти с тем, что многолетняя техническая отсталость уже сказалась на готовности самих учебных заведений организовывать современное обучение, и это, может быть, самый тревожный фактор.

Увеличение бюджетов на технические средства обучения не означает само по себе решения проблемы интенсификации процесса обучения. В каком направлении должны быть направлены инвестиции с точки зрения функциональности разрабатываемых обучающих систем? Рассмотрим существующее положение вещей и сформулируем основные требования к современным техническим средствам обучения, выполнение которых возможно при современном уровне развития средств вычислительной техники.

### Физические модели технологических объектов

Отображают общий характер технологического процесса, физические параметры поддаются физическому измерению.

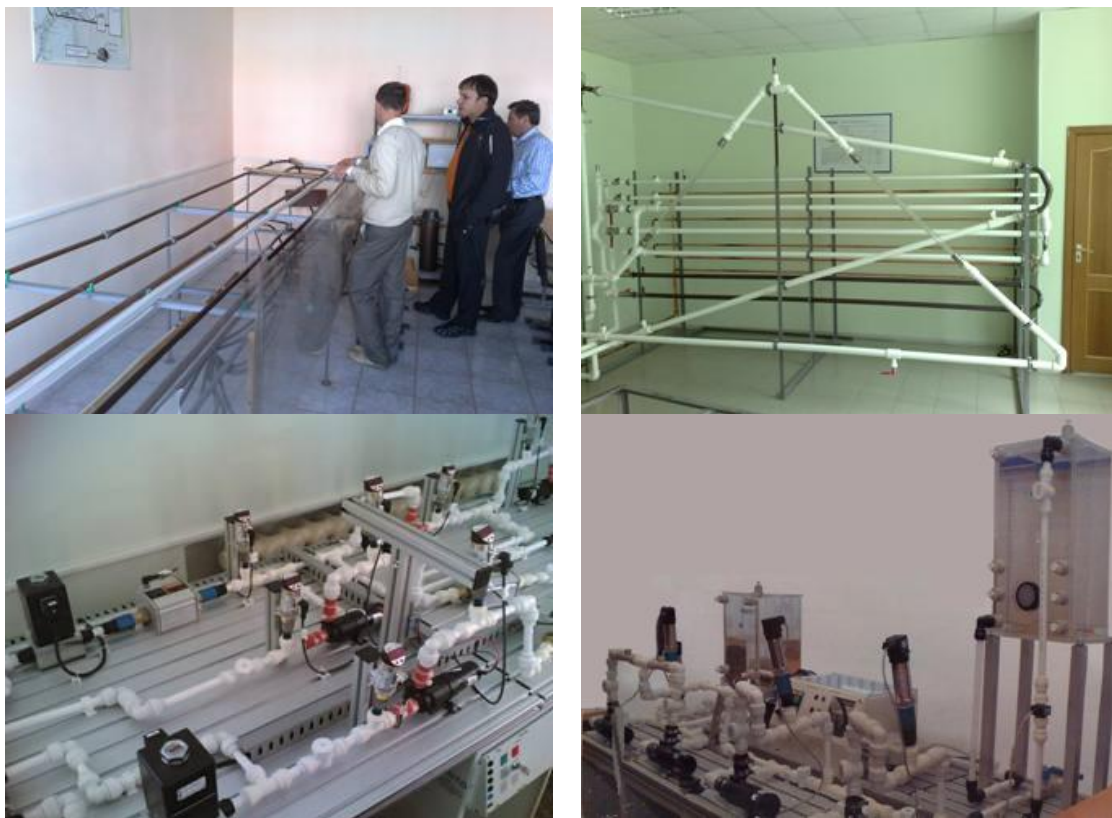


Рисунок 1. Примеры физической модели технологического объекта

Однако в таких системах возникает проблема масштаба: скорость звука в среде остается неизменной и на малых расстояниях невозможно показать динамику гидродинамических процессов в трубопроводах, а давления и расходы, далекие от реальных, серьезно **искажают** представление обучаемых о реальном технологическом процессе[1]. В таких моделях невозможно наглядно обосновать функциональное назначение большинства реальных подсистем, от систем защит и контуров регулирования до вспомогательных систем и средств энергоснабжения. Не отображается большинство функций систем автоматики и аварийных защит.

При создании таких систем следует, очевидно, акцентировать внимание на технические аспекты измерения параметров (надо рассматривать «сверла», а не «дырки»). Очевидна направленность обучения на персонал, обслуживающий оборудование. Необходимо разнообразить средства измерения, ставить разные типы и марки датчиков и дополнять их современными преобразователями и регистраторами, сгруппированными в приборные стенды (см. ниже). Не следует тратить ресурсы на попытки рассмотреть взаимосвязь параметров в реальной

технологии, создавать большие стенды из одинакового оборудования и называть их уменьшенной копией технологического объекта: 4 малых насоса с несколькими кранами и датчиками - это еще не насосная станция. Может, стоило ограничиться математической моделью?

### Математические модели и тренажеры на их основе

Дают полное количественное представление о параметрах реального технологического процесса добычи, хранения и перекачки нефти и газа. С разной степенью адекватности моделируются реальные характеристики с учетом взаимозависимости параметров. В таких системах основным преимуществом является полнота представления технологического процесса, функций. Можно наглядно показать, для чего предназначена та или иная подсистема, отображается реалистичная количественная взаимозависимость параметров (рассматриваются «дырки», не «сверла»). Наиболее эффективна направленность таких обучающих систем на обучение специалистов, например технологов, операторов и диспетчеров *навыкам управления* технологическим процессом при исправном оборудовании и в аварийных ситуациях[2].

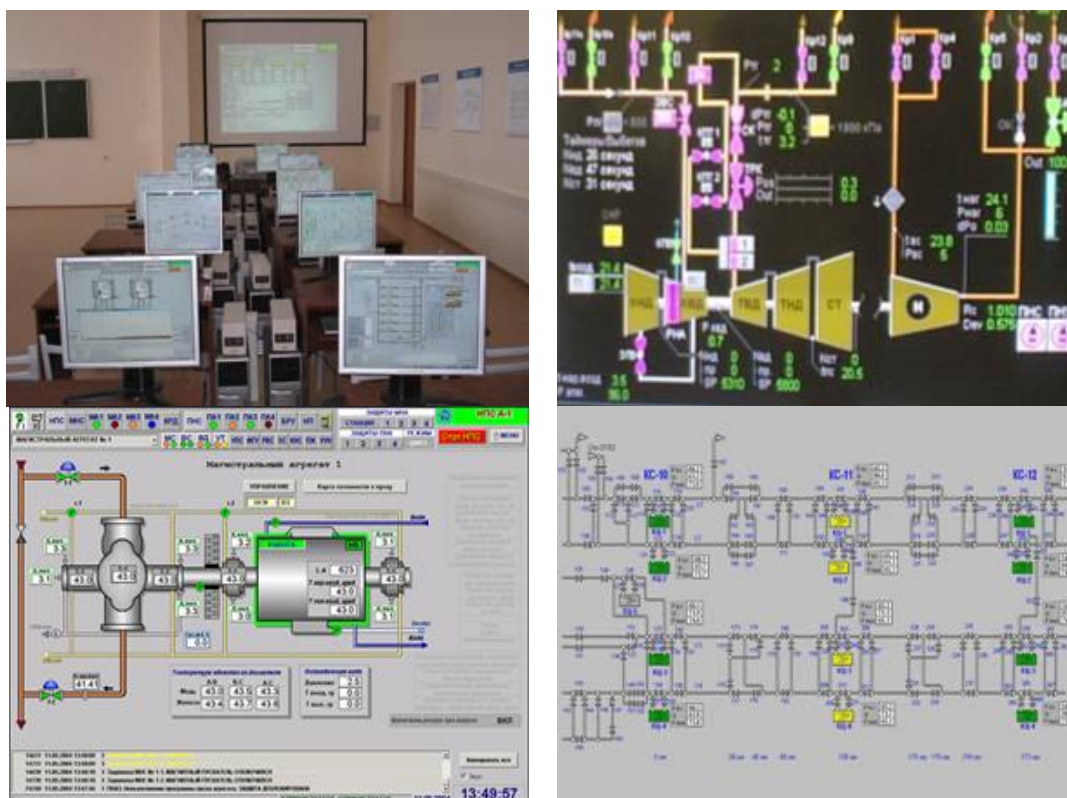


Рисунок 2. Примеры компьютерного тренажера, технологической схемы и экранов



Исследования показывают, что индивидуальные и совместные занятия на тренажерах оставляют в памяти на длительный срок 75-90% информации, а лекции – только до 10%. Особенно эффективны занятия в условиях решения сложных задач с активной визуализацией результатов действия (искусственная 3D реальность, действующие макеты и приборные стенды, реальные диспетчерские мнемосхемы). Однако при отсутствии таких дополнительных средств визуализации отображение процесса ограничивается возможностями SCADA-системы и в целом схематично. В отсутствие связи с реальными стендами приборов и шкафов автоматики отсутствует возможность изучить внутренние физические и алгоритмические особенности процесса измерения параметров, сбора и обработки информации.

### **Макеты, действующие приборные стенды, наглядные пособия**

Характеризуются пространственной, наиболее наглядной презентацией объектов, подсистем и некоторых процессов и параметров, поддающихся непосредственному наблюдению.



Рисунок 3. Примеры макетов и действующего приборного стенда

Тем не менее, простые, недействующие макеты статичны и дают мало информации и о характере технологического процесса и о характеристиках оборудования. При рассмотрении макетов нет возможности углубиться в подробности устройства и функционирования оборудования и объектов по

соображениям масштаба. Приборные стенды сами по себе не дают представления о технологическом процессе. Наглядные пособия ограничены одним видом оборудования без рассмотрения системы в целом.

Повысить эффективность обучения можно путем объединения действующего макета с математической моделью технологического процесса[3]. Под термином «действующий макет» подразумевается наличие в составе макета элементов физических моделей и устройств, если не моделирующих прямо, то достоверно имитирующих реальные физические эффекты. Требуется найти правильный баланс – какие параметры поддаются наблюдению, надо наглядно показать или имитировать, измеряемые параметры или их модельное значение вывести на индикаторы, имитирующие показания датчиков по месту их «реального» расположения на макете. Также рекомендуется некоторые измеряемые параметры получать с действующих измерительных приборных стендов, указанных выше, и включать в систему как эквивалентные параметрам модели[4,5]. Такая комбинация позволит осуществлять наиболее полный цикл лабораторных работ по изучаемой тематике.

### **Виртуальные пространственные модели**

Такие модели осуществляют пространственную, наглядную презентацию объектов, подсистем и некоторых процессов и параметров, поддающихся непосредственному наблюдению. Возможность вывести по виртуальному месту расположения датчиков (и вообще в любом месте) значения параметров технологического процесса. Однако достоинства таких систем оборачиваются ограниченностью общего пространственного представления при произвольно выбранной точке зрения. Требуются навыки опытного «геймера» для свободной ориентации в виртуальном пространстве, которое представляется, в отличие от макетов, несколько хаотично.

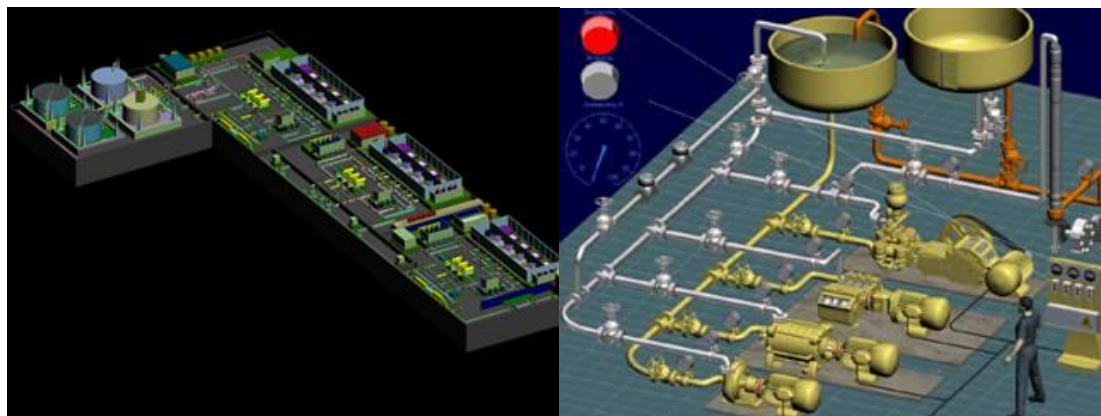


Рисунок 4. Пример виртуальной пространственной модели

Особенно очевиден данный недостаток при презентации крупных иерархических объектов – попробуйте ходить по улице, смотря в подзорную трубу.

Рекомендуется объединять такие системы с математической моделью технологического процесса. Такие объединенные системы можно развить вплоть до виртуальной лаборатории с возможностью проводить количественные исследования процессов, точность которых ограничена лишь точностью модели. Глубина проникновения во внутренние пространства и устройство объектов ограничена только временем разработки.

### **Современный подход к разработке технических средств обучения**

С учетом перечисленных требований и описанием технической реализации можно сделать вывод, что существующие на сегодняшний день технические средства обучения специалистов в ТЭК, от которых зависит общий уровень промышленной безопасности, не отвечают требованиям повышения профессиональных качеств, прежде всего, *концептуально*.

Наиболее естественным способом решить указанные проблемы является *интеграция в едином комплексе* элементов и свойств физических и виртуальных моделей. Такая интегрированная обучающая система подразумевает взаимное проникновение подсистем, отвечающих как за внутреннее содержание процесса обучения, удовлетворяющее требованиям полноты, адекватности, гибкости и т.д., так и за внешние средства представления информации обучаемому, среди которых отметим стенды, действующие макеты, мнемосхемы АРМ, автоматизированные системы обучения, тесты и т.д.

В качестве примера рассмотрим интегрированную обучающую систему «Трубопроводный транспорт нефти», внедренную в Самарском государственном нефтяном техническом университете [6]. В основе всего комплекса заложена подробная математическая модель всего технологического процесса, развернута пространственная картина всего процесса. Состояние оборудования на действующем макете постоянно изменяется, что подчеркивается цветом подсветки. В комплекс интегрирован компьютерный «Тренажер операторов НПС и диспетчеров РДП», поэтому реалистичность модели реальных процессов совмещается с реальными управляющими АРМ, используемыми в АК «Транснефть», и результаты вмешательства оператора в процесс наглядно отображаются на действующем макете.

В прозрачных трубах течет вода, имитируя реальное движение нефти. Контуры, в которых в данный момент есть движение жидкости, подсвечиваются, в буквальном смысле показывая процесс перекачки нефти. Технологическая схема реализует движение нефти по участку магистрального нефтепровода от резервуаров к резервуарам с одной головной и двумя промежуточными станциями.



Рисунок 5. Общий вид комплекса

Из резервуаров нефть перекачивается по линии подпорных и магистральных насосов на выход головной насосной станции. Показано и действует все основное оборудование – фильтры, узел учета нефти, насосные агрегаты, контуры регулирования давления, камеры пуска, пропуска и приема средств очистки и диагностики, сами средства очистки и диагностики (скребки), вспомогательные системы и другое оборудование

Резервуары показаны различных видов, в частности, наряду с обычным исполнением резервуаров, реализована модель резервуара с плавающим понтоном и резервуара с плавающей крышей. Уровень жидкости в резервуарах постоянно меняется и в целом соответствует показаниям на индикаторах.



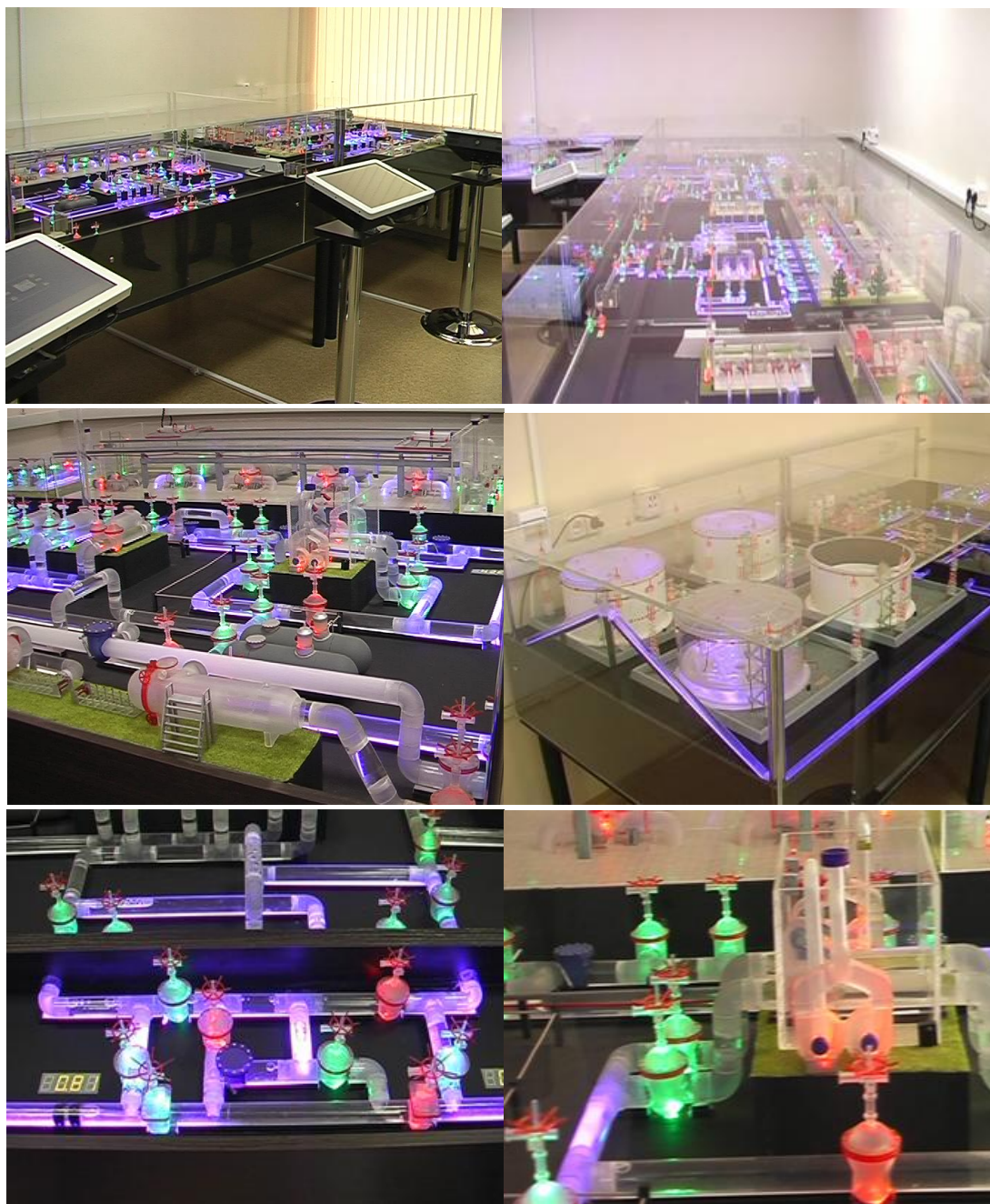


Рисунок 6. Интегрированный обучающий комплекс. Фрагменты



Рисунок 7. Интегрированный обучающий комплекс. Фрагменты

На таком комплексе учащийся с самого начала вовлечен в производственный процесс, знакомится с разнообразным оборудованием и имеет возможность вмешаться в процесс с совершенно реального рабочего места оператора, для полноты представления вынесенного непосредственно к макету для того, чтобы обучаемый непосредственно наблюдал результат своего вмешательства[7].

Такое обучение дает наибольшую отдачу, так как обучаемый находится в реалистичном информационном поле, где каждый физический параметр

правильно представлен как сам по себе, так и во взаимосвязи с другими параметрами

Кроме визуальных эффектов ученик получает важнейшую образную информацию – как осуществляется процесс, как пространственно расположено оборудование и как все это связано с динамикой процессов.

В одной аудитории можно проводить общие обзорные лекции для всех специальностей, связанных с транспортом энергоресурсов, пользуясь макетом и экраном для иллюстрации той или иной информации, причем те или иные элементы можно выделять на макете с помощью лазерной указки, запуская на панели вспомогательную страничку с 3D-роликом или страничкой обучающей системы.

Здесь же можно проводить углубленные практические занятия для специалистов, обслуживающих сложные технические средства измерений и средства автоматики. Можно программировать контроллеры и экспериментировать с различными алгоритмами работы автоматики и сразу видеть результаты работы на действующем макете, ведь он работает в том же информационном пространстве под управлением единой математической модели.

Можно обучать будущих инженеров и диспетчеров управлять сложными технологическими процессами в реальном масштабе времени как в типовых, штатных ситуациях, так и в условиях искусственного стресса в нештатных ситуациях вплоть до исследования разных алгоритмов работы систем и эргономического влияния того или иного интерфейса на восприятие и быстроту принятия решений.

Сами учащиеся могут принимать участие в проектировании прикладного программного обеспечения, менять алгоритмы и интерфейсы, а также расширять технологическую схему, менять рельеф трассы, или даже исследовать совершенно другую систему за пределами резервуаров, так как конструктор математических моделей открыт для пользователей. Для усложнения ситуаций специально разработан динамический генератор аварийных ситуаций, компилирующий единичные отказы в динамические цепочки с разворачиваем всей сложной нештатной ситуации в пространстве и во времени.

Имеется возможность исследовать те или иные ситуации, «прокручивая» данные из архива по тем или иным ситуациям. Возможно осуществлять тестирование обучаемых, для этого существуют и постоянно совершенствуются средства и программы тестирования, модули записи последовательности действий обучаемого при работе на комплексе, как на тренажере, с последующей автоматической оценкой этих действий.



## Выводы

Указанный комплекс эффективно используется в обучении благодаря тому, что сам процесс обучения является более естественным для человека, задействованы визуальные, аудиальные, пространственные и знако-символьные способы восприятия с возможностью для обучаемого самому выбрать способ, как достичь наибольшего восприятия информации, увидеть, услышать или представить, а также, и это главное, самому поучаствовать в таких ситуациях и решать такие задачи, для осознания которых без такого обучения потребовались бы годы реальной работы. При этом имеется возможность совершать ошибки, которые недопустимы на реальном объекте. Предотвращение подобных ошибок в будущей работе и является основным предназначением разработанного комплекса.

## Литература

1. Кудрявцев А.А., Хафизов Ф.Ш., Шевченко Д.И. Определение структуры и параметров регуляторов для задач моделирования процессов в компьютерных тренажерах при ограниченном информационном обеспечении // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2011. №1. С. 320-335
2. Кудрявцев А.А., Хафизов Ф.Ш., Шевченко Д.И. Внедрение тренажеров для обучения оперативного и диспетчерского персонала объектов транспорта нефти // Экологические проблемы нефтедобычи: сб. тр. / Всерос. науч. конф. Уфа: УГНТУ, 2010. С. 19-21.
3. Имитационные тренажеры и автоматизированные системы обучения /Кудрявцев А.А. и др. // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2005. №3. С. 26-30.
4. Мугаллимов Ф.М., Калимуллин А.А., Обеспечение безопасной эксплуатации подводных переходов нефтепроводов // Нефтяное хозяйство. 2002. № 12. С. С. 341-353.
5. Скрепки для очистки трубопроводов малого диаметра с сигнализатором местонахождения / Мугаллимов Ф.М. и др. // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2008. № 3. С. 9-11
6. Хафизов Ф.Ш., Кудрявцев А.А., Шевченко Д.И. Общая концепция интегрированной обучающей системы для трубопроводного транспорта нефти // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2011. №5. С. 476-487.
7. Кудрявцев А.А., Хафизов Ф.Ш., Гиниятов И.Г. Подготовка и тренинг персонала объектов нефтегазового комплекса с использованием имитационных тренажеров // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов Уфа: изд-во ГУП «ИПТЕР», 2008. №4(74). С. 115-118.



## References

1. Kudrjavcev A.A., Hafizov F.Sh., Shevchenko D.I. Opredelenie struktury i parametrov reguljatorov dlja zadach modelirovaniya processov v komp'juternyh trenazherah pri ogranichenom informacionnom obespechenii // Neftegazovoe delo: jelektron. nauch. zhurn. 2011. №1. С. 320-335
2. Kudrjavcev A.A., Hafizov F.Sh., Shevchenko D.I. Vnedrenie trenazherov dlja obuchenija operativnogo i dispetcherskogo personala ob'ektov transporta nefti // Jekologicheskie problemy neftedobychi: sb. tr. / Vseros. nauch. konf. Ufa: UGNTU, 2010. S. 19-21. [in russian].
3. Imitacionnye trenazhery i avtomatizirovannye sistemy obuchenija / Kudrjavcev A.A. i dr. // Avtomatizacija, telemehanizacija i svjaz' v neftjanoj promyshlennosti. 2005. №3. S. 26-30. [in russian].
4. Mugallimov F.M., Kalimullin A.A., Obespechenie bezopasnoj jekspluatacii podvodnyh perehodov nefteprovodov // Neftjanoe hozjajstvo. 2002. № 12. S. 9-11 [in russian].
5. Skrebki dlja ochistki truboprovodov malogo diametra s signalizatorom mestonahozhdenija/ Mugallimov F.M. i dr. // Transport i hranenie nefteproduktov. 2008. № 3. S. 341-353 [in russian].
6. Hafizov F.Sh., Kudrjavcev A.A., Shevchenko D.I. Obshhaja koncepcija integrirovannoj obuchajushhej sistemy dlja truboprovodnogo transporta nefti // Neftegazovoe delo: jelektron. nauch. zhurn. 2011. №5. S. 476-487. [in russian].
7. Kudrjavcev A.A., Hafizov F.Sh., Giniyatov I.G. Podgotovka i trening personala ob'ektov neftegazovogo kompleksa s ispol'zovaniem imitacionnyh trenazherov // Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov Ufa: izd-vo GUP «IPTER», 2008. №4(74). S. 115-118. [in russian].

## Сведения об авторах

Мугаллимов Ф.М., д-р. тех. наук, проф. кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация.

Mugallimov F.M., Dr. Sc., Professor of chair “Transport and storage of oil and gas”, FSBEI HPE USPTU, Ufa, Russian Federation.

Кудрявцев А.А., канд. тех. наук, старший научный сотрудник кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация.

Kudryavtsev A.A., Ph.D., a senior researcher at the Department of chair “Fire and Industrial Safety”, FSBEI HPE USPTU, Ufa, Russian Federation.

e-mail: info@vostokoil.ru