

Цели, требования и практические аспекты разработки современных технических средств обучения для специалистов трубопроводного транспорта



Ф.Ш. Хафизов
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная и пожарная безопасность» УГНТУ, Уфа



Д.И. Шевченко
Кандидат технических наук, технический директор ООО «НПП Автоматизация технологических процессов», Уфа

► **Ключевые слова / Key words:**

- обучающие системы, тренажеры, требования к средствам обучения;
- training systems, simulator, training aids requirement



А.А. Кудрявцев
Заместитель директора ООО «НПП Автоматизация технологических процессов», Уфа



А.Р. Арсланов
Аспирант УГНТУ, Уфа

В настоящее время на технологических объектах активно внедряется современное дорогостоящее и надежное оборудование, работающее под управлением микропроцессорных систем автоматизации. Однако это не может полностью компенсировать общее увеличение износа техники и коммуникаций, а значит, повышаются требования к обслуживанию нового и старого оборудования, к так называемому человеческому фактору.

Причины возрастания роли человеческого капитала на уровне конкретного предприятия объективны. Располагая достаточными финансовыми и информационными возможностями, большинство российских нефтегазовых компаний сегодня технически оснащены на уровне мировых стандартов, то есть за счет относительного нивелирования производственной составляющей этот

фактор практически решающих конкурентных преимуществ уже не дает. Совершенствование технологии нефтегазодобычи и транспортировки, информационного обеспечения во многом предсказуемо и вряд ли приведет к революционным преобразованиям.

При этом выход на мировой рынок, все более возрастающий акцент на приращение ведущим нефтегазовым компаниям России статуса транснациональных, обязывает их адекватно подходить к качественной компоненте кадрового потенциала. Таким образом, наиболее емким по своим резервам и в то же время сложностям стратегическим фактором экономического благополучия субъектов нефтегазовой отрасли становится его персонал. Это мнение разделяют многие ведущие специалисты российской и зарубежной нефтегазовой отрасли (**рисунк 1**).

Проблема усугубляется общим снижением количества и общего уровня образования новых кадров. По прогнозу Росстата, сокращение численности населения в трудоспособном возрасте в 2007 – 2025 гг. составит 16,2 млн человек. На создании конкурентоспособного кадрового потенциала, безусловно, отразится и тот факт, что истощение месторождений и их последующий вывод из эксплуатации будут снижать доходы федерального бюджета с 23,6% ВВП в 2007 г. до 12,9% – в 2023 г., то есть нефтегазовый сектор – главный источник формирования бюджета – в будущем будет расти темпами ниже роста экономики. Так, по оценкам Минфина РФ, реальный прирост ВВП за 15 лет составит 2,7 раза, а для добычи газа – 28% и нефти – 7%.

Кроме того, особенности труда в нефтегазовой отрасли, усложняющиеся смещением наиболее перспективных

Выберите, пожалуйста, три наиболее важные проблемы, стоящие сегодня перед компаниями нефтегазового сектора, ведущими деятельность в России

Консолидированная выручка моей компании в мировом масштабе составляет:



рисунок 1. Результаты опроса ведущих специалистов нефтегазовых компаний, работающих в России, Deloitte, 2008

по запасам месторождений далеко в районы Крайнего Севера и шельфовую зону, а отсюда и дальнейшее возрастание негативной роли экстремальных природно-климатических условий, заметно повлияют на многих потенциальных работников в их желании приложить свой талант и умение в этом сегменте ТЭКа [1].

Следовательно, профессиональное обучение и переподготовка кадров будет

производиться при существенном дефиците ресурсов. Одним из возможных решений является интенсификация процесса обучения с использованием всех возможностей современных технологий. Резервы тут огромные.

Исследование современных методов обучения [2] показывает, что традиционные подходы к проведению занятий на курсах подготовки и переподготовки малоэффективны по сравнению с прак-

тикой. Например, согласно исследованиям Национальной тренинговой лаборатории США, протестировавшей большие группы учащихся спустя 2 недели после занятий разных типов, в памяти фиксируется лишь часть из полученных знаний (**рисунок 2**):

Именно поэтому особую ценность приобретают более опытные специалисты, т.к. у них за плечами годы действительно эффективного обучения на рабочем месте.

Однако у такого подхода к обучению, т.е. малоэффективная подготовка и эффективная практика на рабочем месте, имеется большой недостаток – невозможность эффективно готовить специалистов к работе в нестандартных, «нештатных» и аварийных ситуациях, т.к. никто не будет рисковать сложным технологическим оборудованием ради обучения. Оборудование стареет, все чаще приводит к нестандартным ситуациям, а новая техника становится все сложнее и просто опытом ее не освоить. Как показывает практика, данный недостаток можно исправить путем использования в обучении тренажеров, имитирующих технологические процессы, включая нестандартные и аварийные. По этой причине в наши дни во всем мире использование тренажеров при подготовке специалистов опасных производств становится стандартом (например, правила ПБ 09-540-03, API OPERATOR QUALIFICATION: PIPELINER TRAINING & ASSESSMENT PROGRAM и т.д.).

Тренажеры, отвечающие современным требованиям к качеству подготовки

рисунок 2. «Пирамида обучения» согласно исследованиям National Training Laboratories, Bethel, Maine





рисунок 3.
Типовые аудитории вузов и учебных центров



рисунок 4.
Современные тренажерные комплексы для подготовки специалистов ТЭК

специалистов, очень сложны и дороги, так как, по сути, являются наукоемким «штучным товаром», специально настроенным на решение задач конкретного технологического процесса или объекта.

Тренажеры дороги, но и обучение само по себе недешево, подразумевает наличие инфраструктуры, преподавателей, отрыв учащихся от производства и т.д. Насколько различается стоимость обучения в аудиториях, изображенных на рисунках 3 и 4?

Примерный расчет стоимости переподготовки дан в таблице 1.

Очевидно, что цифры могут быть иными, но в любом случае стоимость эксплуатации дорогостоящих тренажерных комплексов и стендов несопоставима с общей стоимостью обучения

таблица 1

Сравнительная характеристика стоимости часа переподготовки специалиста в оснащенной и «пустой» аудитории

№	Статья затрат	Ориентировочная удельная стоимость, руб/час на одного специалиста
1	Стоимость административной инфраструктуры курса (модуля, кейса) примерно 20000руб за 40 часов (здания, сооружения, администрация, сотрудники, электроэнергия и т.д)	500
2	Стоимость отрыва от производства обучаемых специалистов, примерно 10000 за 40 часов	250
3	Командировочные расходы, транспорт и проживание примерно 5000 за 40 часов	125
Итого стоимость часа обучения специалиста, без учета качества		875
4	Удельная стоимость эксплуатации тренажера, приборного стенда, макс.стоимость 5000000 руб, срок службы 10 лет (20000 часов), загруженность 100% обучением групп по 20 человек	12,5
Итого стоимость часа обучения специалиста в оснащенной аудитории		887,5

для предприятий в целом, повышая ее на 1 – 2 процента. Возникает вопрос – стоит ли экономить на таком оснащении для курируемых учебных центров, ВУЗов и техникумов или заказывать

«пустые» курсы у внешних учебных заведений?

Автоматизированные обучающие системы (АОС), как правило, сопровождающие тренажеры, позволяют зна-

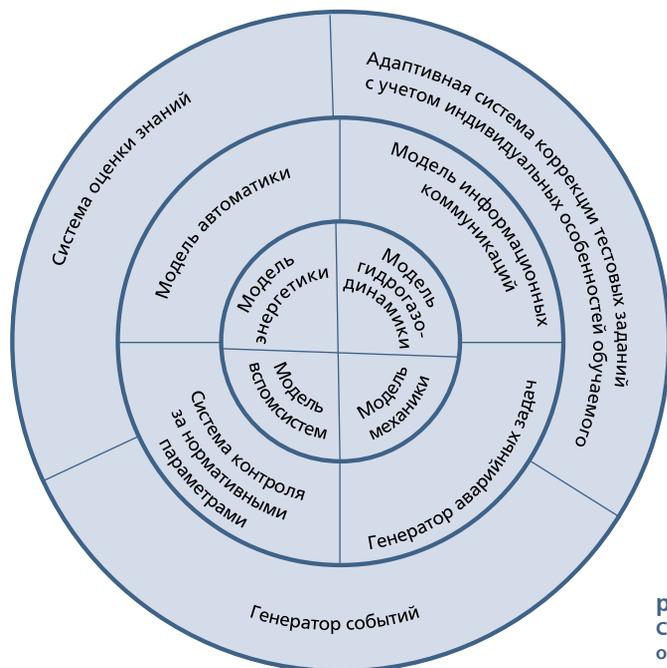


рисунок 5.
Структура интегрированной обучающей системы

чительно выровнять разницу в уровне инструкторов и преподавателей. Такие системы служат основой даже для дистанционного обучения, дают широкие возможности для самостоятельной работы учащихся и не допускают «автоматического» перехода на «следующий уровень», к тренажеру, неподготовленного ученика. Для этого предусматривается система текущего и многоуровневого тестирования.

Под оснащением понимается не только обеспечение практических занятий, но и лекций. В передовых учебных заведениях конспекты и дидактические материалы давно распечатываются, а лекция превращается в конструктивный диалог с разбором конкретных задач. Эффективность таких занятий, согласно концепции «пирамиды обучения», также может быть многократно усилена путем широкого внедрения АОС с модулями текущего контроля усвоения материала, предельно наглядными действующими макетами или 3D-моделями объектов и технологических процессов, совмещенных с гидродинамическими, электрическими моделями и эмуляторами алгоритмов автоматизации (SCADA) и средств КИПиА и связи.

В рамках предлагаемой концепции экспериментально показано, что серьезным ресурсом сокращения времени тренинга, следовательно, и повышения эффективности всего курса обучения, является степень реализации в реальном тренажерном комплексе элементов концепции интегрированной обучающей системы.

Интегрированная обучающая система, подразумевает интеграцию и 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.

Основой расчетной части системы является модель технологических процессов, которая определяет основные исходные данные и взаимосвязь между ними. Для опасных объектов трубопроводного транспорта нефти это, прежде всего, математические модели гидродинамики процессов в разветвленных трубопроводах, модели агрегатов, регуляторов и систем управления.

Решение задач, создания инструментария построения математических моделей для тренажеров операто-

ров и диспетчеров трубопроводного транспорта в условиях сокращенных ресурсов по времени разработки и по финансам является важным вкладом в обеспечение высокого уровня промышленной безопасности. Результатом успешного решения этих задач является снижение требований к квалификации разработчика (настройщика) новой схемы в тренажере, например до уровня преподавателя, который работает с прикладным инструментарием разработки тренажеров, что позволит удешевить и распараллелить процесс разработки. Должны быть отчасти снижены требования к информационному обеспечению проекта, разработка должна опираться на доступные данные от эксплуатирующей организации (например, данные архивов СДКУ), а не от производителя оборудования (данные вообще могут быть закрыты или отсутствовать). При этом некоторые закрытые модели оборудования и систем управления должны реконструироваться по данным ИПП. Некоторая натяжка и упрощение при таком подходе компенсируется самой возможностью и ускорением разработки моделей, максимально адекватных реальному и удовлетворяющих требованиям полноты для проведения оптимального множества тренингов. К такому инструментарию можно отнести следующие компоненты:

1. Построение моделей трубопроводов. Стационарные модели. Динамические модели.
2. Уточнение (идентификация) параметров по данным архивов.



рисунок 6.
Общий вид комплекса

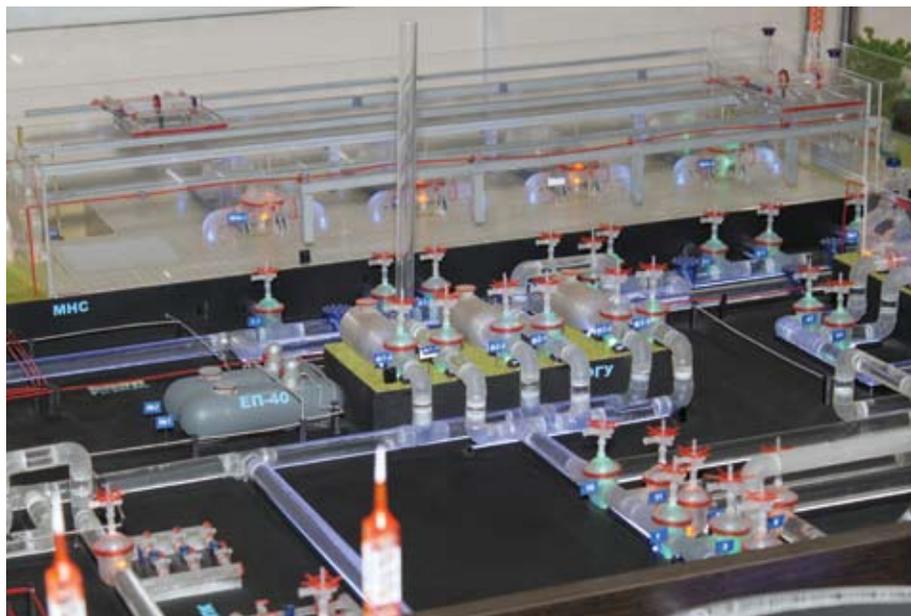


рисунок 7.
Отображение процесса работы НПС

3. Построение моделей отдельных агрегатов, насосов и энергосистем.
4. Построение модели информационных каналов (структура, дискретизация, полнота и надежность, запаздывание).
5. Построение алгоритмов иерархических и распределенных САУ.
6. Построение алгоритмов логического управления и защит. Использование регламентов. Использование доступных данных по структуре систем управления.
7. Оценка отклонений параметров от оптимальных по данным архивов.
8. Идентификация динамических звеньев по данным архивов.
9. Определение структуры и (закрытых) оптимальных параметров регуляторов динамических систем автоматического управления САУ.

Рассмотрим особенности такой системы более подробно, на примере интегрированной обучающей системы для специалистов трубопроводного транспорта нефти, реализованной в Самарском государственном техническом университете.

Отличительной особенностью такого обучающего комплекса является представление динамики технологического процесса трубопроводного транспорта нефти во всей полноте – внешний вид, взаиморасположение и текущее состояние оборудования совмещаются с мнемосхемами диспетчерских АРМ и мультимедийными справочниками АОС, созданными с использованием средств 3D-моделирования:

В основе всего комплекса заложена подробная математическая модель все-

го технологического процесса, развернута пространственная картина всего процесса. Состояние оборудования на действующем макете постоянно изменяется, что подчеркивается цветом подсветки.

В прозрачных трубах течет вода, имитируя реальное движение нефти. Контуры, в которых в данный момент есть движение жидкости, подсвечива-

ются, в буквальном смысле показывая процесс перекачки нефти. Технологическая схема реализует движение нефти по участку магистрального нефтепровода от резервуара к резервуарам с одной головной и двумя промежуточными нефтеперекачивающими станциями (НПС).

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.

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 (СОД, скребки), вспомогательные системы и другое оборудование. 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 непосред-

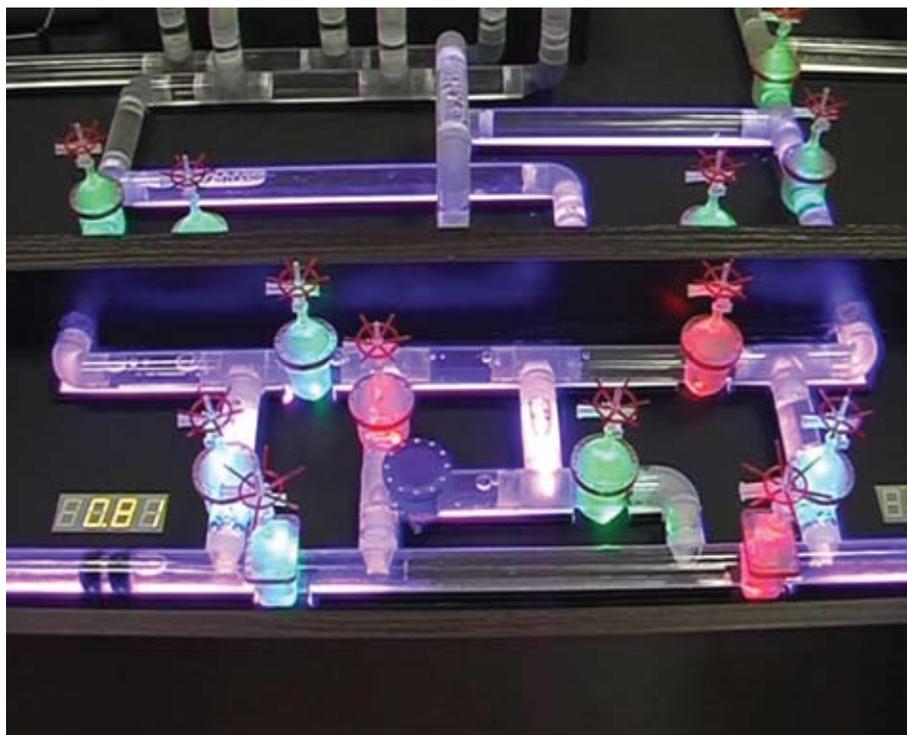


рисунок 8.
Пропуск скребка



рисунок 9.
АРМ ученика (на базе АРМ оператора и диспетчера)

ственно наблюдал результат своего вмешательства.

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. Ненаблюдаемые визуально параметры отображаются на разнообразных графиках и диаграммах, отображаемых как на внешних экранах, так и на рабочем месте ученика.

Таким образом, обучение осуществляется от простого к сложному, от общего знакомства с особенностями технологии и оборудования, к принципам управления и работы автоматики, вплоть до возможности участвовать в сложных операциях по парированию нештатной ситуации.

Таким образом, 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. Тем самым, комплекс приобретает достоинство 3D-моделей – масштабируемость, т.к. устройство и функциональное назначение сложного оборудования, например, система сглаживания волн давления (ССВД), с помощью действующего макета может быть рассмотрено только до определенной глубины из-за того, что эта система на макете сама по себе с расстояния 1,5 – 2 м невелика. 3D-ролик на плазменной панели, вызываемый «кликом» указкой по фотодиоду рядом с макетом ССВД, поможет подробно углубиться в устройство системы и подробнее рассмотреть эффекты ее использования.

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 эр-

гономического 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 по правилам концепции «дерева отказов» [3].

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.

При практической реализации указанной концепции были выработаны следующие рекомендации по разработке и использованию технических решений:

1. В настоящее время большинством специалистов признан тот факт, что использование тренажеров при обучении специалистов является, безусловно, полезным. Однако строгих методик оценки эффективности на этапе проектирования тренажеров для подготовки специалистов трубопроводного транспорта и целесообразности тех или иных функций тренинга пока нет. Не учитывается и ограниченность ресурсов на тренинги по времени и финансам. Современная обучающая система должна иметь выраженную целевую направленность и одновременно гибкость, отвечать всем требованиям учебного процесса и обеспечить получение конкретных знаний и навыков в условиях ограниченности по времени переподготовки или тренинга, а также по финансовым ресурсам. Для выполнения данного условия необходимо перевести абстрактные общие требования ►►

в форму конкретных тренингов. Как один из вариантов решения указанной проблемы предлагается на основе концепции «дерева отказов» [3] сформировать оптимальное множество тренингов, обеспечивающее максимальную эффективность, т.е. максимальное снижение количества и удельного веса ошибок персонала и их влияния на общий уровень промышленной безопасности при ограничении ресурсов на общее время проведения тренингов и финансовые затраты. Основными элементами для построения являются внутренние события системы (внезапные отказы, постепенное изменение параметра до сигнального уровня), внешние события (указания на смену режима, внешние воздействия) и действия самого обучаемого (правильные и своевременные или нет). Наличие такого множества карт тренингов, каждый из которых заканчивается некоторым итоговым событием с присвоенной функцией штрафа («убытка», «риска»), позволяет выбрать, в зависимости от времени тренинга, наиболее эффективный, с точки зрения итогового штрафной функции вероятного ущерба, набор тренингов и реализовать их в обучающей системе. Техническая реализация указанного множества производится с помощью указанного выше встроенного в интегрированную обучающую систему генератора аварийных ситуаций. Полнота и достоверность выполнения оптимального множества тренингов диктует требования к технической реализации средств интегрированной обучающей системы – точности и полноте математических моделей, а также к средствам активной визуализации и к оснащению приборных стендов.

2. При проектировании «карт тренинга» следует производить агрегирование видов отказов. Развертывание сценариев «дерева отказов» с детализацией аварийных событий до метра конкретной утечки или процента засоренности фильтров, приведет к увеличению числа тренингов до многих тысяч и времени отработки до тысяч часов, причем при прохождении последнего тренинга обучаемый уже забудет про первый.

3. Концепция «дерева отказов» подразумевает присваивание ветвям некоторой вероятности возникновения событий. Анализ происшествий на

объектах трубопроводного транспорта показывает, что разнообразие причин конкретных отказов и редкая, а порой и уникальная цепочка развития событий не позволяет корректно ставить вопрос о расчете априорной вероятности из-за недостаточности статистических данных. Более правильным является приращение ветвям некоторых весовых коэффициентов, оценки которых производятся по методу экспертных оценок. Так же метод экспертных оценок следует использовать при априорной оценке ущерба (функции штрафа) от того или иного события.

4. Оценка финансовых ресурсов на проведение тренингов должна учитывать не только стоимость тренажеров, но и стоимостную составляющую самой инфраструктуры процесса обучения (здания, помещения, территория, электроэнергия, отопление, административные работники, преподавательский состав и т. д.), а также стоимость отрыва от производства с сохранением заработной платы групп обучаемых. При этом становится очевидной ошибочность экономии на тренажерах и обучающих системах.

5. Оценка времени тренингов должна производиться на основе эмпирических данных по результатам анализа тренингов групп обучаемых. Учет времени приобретения конкретных навыков позволяет более строго распределять временные ресурсы на обучение и переподготовку.

6. Предварительный профессиональный отбор и тренинг профессионально значимых качеств, важность которых показана в ряде работ [4], являются критически важными мероприятиями, так как прямо влияют на длительность каждого тренинга, стоимость и, следовательно, количество тренингов, которые можно провести в ограниченный отрезок времени. Следовательно, в рамках концепции использования интегрированной обучающей системы, это непосредственно влияет на общий уровень промышленной безопасности.

7. Возможности кадрового отбора ограничены проблемой фактического дефицита кадров и их общего уровня образованности. Возможным решением является интенсификация процесса обучения с использовани-

ем всех возможностей современных технологий. В рамках предлагаемой концепции экспериментально показано, что серьезным ресурсом сокращения времени тренинга, а следовательно и повышения эффективности всего курса обучения, является степень реализации в реальном тренажерном комплексе элементов визуализации – интерактивных макетов и виртуальных сред 3D. Многие сложные процессы можно много раз описывать словесно, с помощью формул и диаграмм, но иногда лучше просто сначала его показать (**рисунок 2**).

8. При создании отдельных учебных курсов для специалистов, обслуживающих технику, следует акцентировать аспекты измерения параметров (изучение свойств «сверла», а не «дырки») при более активном использовании стендов приборного оборудования. При этом желательно разнообразить средства измерения, ставит разные типы и марки датчиков и дополнять их современными преобразователями и регистраторами. Не следует тратить ресурсы на попытки рассмотреть взаимосвязь параметров в реальной технологии на физических моделях, 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. Наличие математической модели «внешних», по отношению к изучаемому оборудованию, процессов делает обучение более осмысленным, показывает причины и последствия тех или иных ошибок при обслуживании оборудования, позволяет изучать сложные проблемы диагностики отказов. Кроме того, объединенная структура комплекса позволяет более органично использовать концепцию дерева отказов для построения более эффективного множества тренингов.

9. При обучении специалистов, управляющих сложными комплексами или планирующих режимы (т.е. операторов, диспетчеров, технологов), следует акцентировать взаимосвязь параметров в совокупности при активном использовании средств визуализации (интерактивные макеты, 3D-реальность). Рекомендуется объединять такие системы с математической ►►

моделью технологического процесса, при этом отдельные подсистемы – экраны, динамическая подсветка, физическая имитация отдельных процессов выступают в роли «мышечных волокон» и могут быть реализованы достаточно простыми и недорогими способами, а мозг, т.е. модель, наполняет совокупность сравнительно несложных подсистем «жизнью», делает процессы реалистичными и понятными для специалистов. Такие объединенные системы можно развить вплоть до виртуальной лаборатории с возможностью проводить «количественные» исследования процессов, точность которых ограничена лишь точностью модели. Глубина проникновения в особенности процессов и устройство объектов ограничена только временем разработки.

10. Интегрированная обучающая система позволяет, в том числе, учесть требования по ограниченности ресурсов не только по времени обучения, но и по используемому пространству (важное ограничение) и по финансовым ресурсам – в одной укомплектованной аудитории можно проводить несколько курсов (тренингов, модулей, кейсов) для разных специальностей и по разным предметам, причем стоимость оборудования будет значительно меньше, чем в совокупность отдельных стендов и тренажеров в отдельных аудиториях. В целом указанная концепция позволяет, в условиях ограниченности ресурсов, максимально и разносторонне презентовать реальный сложный технологический объект в небольшой аудитории и приблизить обучение к практике на рабочем месте (как одному из наиболее эффективных видов подготовки), с возможностью тренинга в аварийных ситуациях.

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.

Указанные принципы работы, технические решения и программное обеспечение могут быть использованы для разработки таких комплексных моделирующих систем в сфере обучения специалистов в области разработки, обслуживания и управления оборудованием добычи и трубопроводного транспорта газа, и, возможно, в других областях.



рисунок 10.
Стенд приборного оборудования и автоматики

Указанный комплекс эффективно используется в обучении благодаря тому, что сам процесс обучения является более естественным для человека, задействованы визуальные, аудиальные, пространственные и знакосимвольные способы восприятия с возможностью для обучаемого самому выбрать способ, как достичь наибольшего восприятия информации, увидеть, услышать или представить, а также, и

1. Быков, В. М. Дифференцированный подход в кадровой политике как фактор экономического и социального благополучия предприятий // Управление персоналом. – 2008. – № 22 (200). – С. 41 – 43.
2. Базарова Г.Т. Особенности обучения взрослых // Менеджер по персоналу. – 2007. – №2, – С. 42 – 48.
3. Гражданкин А.И., Федоров А.А. К вопросу об оценке риска при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов. // Безопасность жизнедеятельности, 2001, №4, с. 2 – 6.
4. Глебова Е.В., Грудина С.А. Влияние «человеческого фактора» на уровень аварийности и травматизма на объектах газоснабжения // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2005.– № 4. – С. 51 – 52.