

## **Тема 4.3. Компьютерные тренажеры в обучении персонала нефтегазовой отрасли**

### **Значение компьютерных систем обучения в нефтегазовой отрасли**

Нефтегазовая отрасль отличается сложными технологическими процессами, аварии на которых приводят к значительным экономическим и экологическим потерям, не говоря о человеческих жертвах. Для работы с подобными процессами требуются специально обученные, квалифицированные операторы, на которых ложится большая ответственность за последствия принятых решений по управлению процессом производства.

По некоторым оценкам, доля аварий по вине операторов в общем числе наиболее крупных аварий в мировой нефтехимии и нефтепереработке за период 60-90-х гг. составляет 26%, а средние потери в результате одной крупной аварии превышают 35 млн. долл. США.

С бурным развитием компьютерных технологий появилась возможность моделировать сложные технологические комплексы для подготовки и повышения квалификации специалистов в различных областях хозяйственной деятельности. В этих условиях во многих странах использование компьютерных тренажеров (автоматизированных систем обучения – АСО) для обучения персонала в нефтегазодобыче, переработке и нефтехимии становится законодательной нормой.

Так в США федеральный стандарт предписывает обязательный компьютерный тренинг для всех принимаемых на работу операторов и тренажерный курс переподготовки для всех действующих операторов не реже одного раза в три года. Американский нефтяной институт (API) рекомендует использовать компьютерные тренажеры режимов пуска и останова для определения уровня квалификации работников по крайней мере один раз в год. Внутренние правила ведущих нефтяных компаний мира предполагают обязательный восстановительный курс после отпусков, болезни или длительного отсутствия практики по другим причинам.

В РФ действующие «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» (ПБ 09-540-03), пункт 2.12 гласят, что для приобретения навыков безопасного ведения работ все операторы производств I и II категории должны пройти курс обучения на компьютерных тренажерах, в основе которых лежат динамические модели. Такие меры приняты для безопасного ведения процесса и предотвращения аварийных ситуаций.

Использование имитационных тренажерных комплексов позволяет повысить профессиональный уровень оперативного и технологического персонала отрасли, дать необходимый практический опыт – отрабатывать базовые навыки работы с системой управления и навыки действий в аварийных ситуациях без риска повлиять на ход реального технологического процесса и не прибегая к экспериментам на реальных объектах.

При этом одним из наиболее эффективных подходов к обучению и повышению квалификации операторов является применение компьютерных тренажеров реального времени. Основная задача таких тренажеров – формирование комплексного навыка принятия решений, который основывается на возможности смоделировать динамический отклик объекта и системы управления на произвольные управляющие воздействия оператора. Т.е. по сути, тренажеры являются теми же программами моделирования химико-технологических процессов в динамическом режиме с обязательным требованием обеспечения режима реального времени.

Основным недостатком компьютерных тренажеров является их высокая стоимость. Многие предприятия хотели бы иметь такие компьютерные тренажеры, и не только ради обеспечения безопасности, но и ради экономической выгоды от уменьшения ошибок персонала. К сожалению, стоимость данных обучающих систем исчисляется десятками и сотнями тысяч долларов. Сами предприятия не могут самостоятельно разрабатывать столь сложные информационные системы из-за отсутствия на рынке соответствующих программных продуктов. Фирмы, разрабатывающие тренажеры, не продают свои платформы для создания тренажеров и в то же время совершенно очевидно, что существующие в России фирмы не смогут в ближайшее время удовлетворить потребности предприятий.

## Структура и назначение тренажерных комплексов

**Структура тренажерного комплекса, как правило, имеет три уровня:** уровень предприятий, средний уровень и уровень установки.

Уровень предприятия – прогнозы и планирование производства; общий контроль стратегии системы; супервизорный контроль и мониторинг всей системы; обработка данных для административной информационной системы.

Средний уровень – планирование, процесс оптимизации с учетом ряда требований с верхнего уровня; определение функций и набора узлов для отдельных контроллеров; супервизорный контроль и мониторинг процесса. Типичным примером здесь может служить управление работой компрессорных станций, станций подземного хранения газа и т.д.

Уровень установки – непосредственное цифровое управление, контроль экстремальных значений (выбросов) параметров; простейшие расчеты.

Тренажеры уровня установки являются наиболее распространенными и в своей работе интенсивно взаимодействуют (опираются) на аппаратно-программную платформу различных PCY (часто в том же смысле употребляется понятие SCADA-системы): Honeywell PlantScape, Honeywell TPS, ABB MOD-300, Yokogawa Centum CS3000, Invensys I\A Series, SCADA Citect, SCADA InTouch и др.

Многие производители в зависимости от целей обучения подразделяют тренажеры уровня установки на:

- специализированные тренажеры;
- типовые тренажеры (тренажеры типовых технологических установок);
- базовые тренажеры (тренажеры для базовых технологических узлов и аппаратов).

Специализированные тренажеры с высокой точностью отражают динамику реальных технологических установок и, как правило, выполнены в среде применяемой на установке PCY. Это позволяет использовать их для глубокого тренинга операторов разной квалификации (в том числе перед пуском установки или PCY), проверять настройки системы базового регулирования и системы ПАЗ, отрабатывать сложные предаварийные и аварийные ситуации.

Типовые тренажеры (тренажеры типовых технологических установок) описывают динамику типовых технологических установок. Эти уже готовые средства обучения обычно выполняются в типовой среде PCY и направлены, в первую очередь, на ознакомление операторов низких разрядов и вновь поступающих операторов с устройством технологических процессов принципами управления ими.

Базовые тренажеры основаны на типовых моделях отдельных технологических узлов и аппаратов. Они полезны для подготовки вновь набираемых молодых операторов и мастеров КИ-ПиА, поскольку дают представления об устройстве таких технологических объектов и особенностях управления ими.

### **По назначению тренажерные комплексы подразделяются на:**

- тренажеры геологогеофизического поиска и разведки месторождений;
- тренажеры бурения скважин;
- тренажеры эксплуатации и ремонта скважин;
- тренажеры транспорта нефти и газа (трубопроводного и танкерного);
- тренажеры технологических процессов переработки.

### **Концепция тренажера уровня установки**

В целом, в курсе работы на тренажере можно выделить четыре этапа:

- ознакомление с объектом;
- прогнозирование последствий по методу «что, если?»;
- поиск причин неисправностей;
- стандартные, типовые и аварийные процедуры действий.

Навыки по ознакомлению с объектом, т.е. использованию функций программного обеспечения станции оператора (навигация по системе меню, включение/выключение устройств, пере-

вод устройств в ручной/автоматический режим и т.п.) позволяют получить простые тренажеры. Формирование необходимого комплексного навыка принятия решений (включая заблаговременное выявление нестандартных ситуаций) возможно только в рамках более сложных тренажеров. Эффективность обучения будет тем выше, чем выше сходство тренажерного комплекса и реальной АСУ ТП. Для повышения сходства целесообразно использовать программное обеспечение и функциональные модули той АСУ ТП, для которой разрабатывается тренажер, а также достаточно адекватную математическую модель моделируемого ТП.

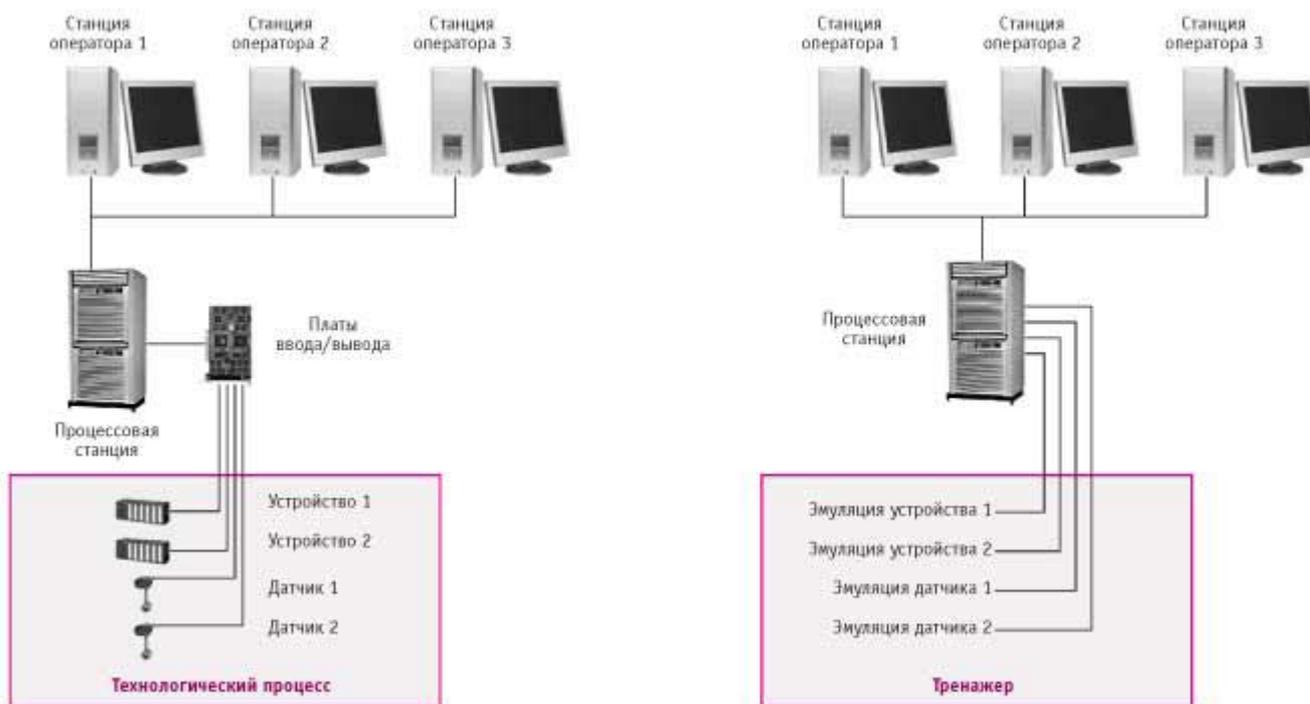
Математические модели тренажера должны быть полномасштабны (охватывать всю технологическую установку, а не ее отдельные фрагменты), обладать реалистичными динамическими свойствами (т.е. оператор видит развитие ситуации в тренажере таким же, как и на реальной установке) и содержать все элементы технологического оборудования и систем управления, важные для обучения.

Операторские интерфейсы тренажеров должны соответствовать принятым стандартам отображения технологической информации. В зависимости от требования заказчика операторский интерфейс тренажера может эмулировать типовой операторский интерфейс микропроцессорной системы управления или с высокой точностью воспроизводить применяемую на установке РСУ. Помимо практической полной функциональности РСУ, такой подход позволяет поддерживать актуальность тренажера в течение долгих лет после внедрения, поскольку пользователь может адаптировать систему управления в тренажере точно так же, как это делается для реального проекта РСУ на установке.

Архитектура тренажерного комплекса в сравнении с реальной АСУ ТП представлена на рисунке 1.

На рисунке 1а изображены основные компоненты АСУ ТП. Управляющие устройства и датчики подсоединяются через платы ввода/вывода к специализированным станциям управления (называемым процессовыми станциями), в которые загружены алгоритмы обработки сигналов от устройств и датчиков технологического процесса, управляющих сигналов со станций оператора, а также генерации управляющих сигналов. Логика работы процессовых станций определяется в модулях, сконфигурированных в специализированном программном обеспечении. Таким образом, технологический процесс с точки зрения процессовой станции представлен набором интерфейсных единиц, каждая из которых позволяет получать данные от устройства или передавать устройству управляющие сигналы.

На рисунке 1б представлена архитектура тренажерного комплекса на базе реальной системы управления. Одно из наиболее значительных преимуществ данной архитектуры заключается в том, что для реализации тренажерного комплекса объекта управления можно с минимальной модификацией использовать программную конфигурацию, которая уже установлена и корректно работает в качестве системы управления этого объекта. Это позволяет полностью сохранить интерфейс пользователя станции оператора, блокировки, алгоритмы и др. Разработчики тренажера для конкретного заказчика, таким образом, могут уделить основное внимание реализации наиболее ресурсоемкой части проекта – разработке математической модели ТП. Как правило, существует возможность установки на одну процессовую станцию нескольких конфигураций, соответствующих нескольким ТП, а также подключать к этой процессовой станции несколько эмуляторов различных ТП. Это позволяет использовать в одном тренажерном комплексе различные модели ТП.



а)

б)

Рисунок 1. Архитектура тренажерного комплекса в сравнении с реальной АСУ ТП

Аналогично операторским станциям подключается инструктора. Рабочая станция инструктора предоставляет инструктору компьютерного обучения набор средств организации и проведения занятий одновременно с несколькими операторами и оценивания приобретенных ими знаний и навыков.

Для конфигурации систем управления многих АСУ ТП используется специализированные языки автоматизации на основе функциональных блоков. Их диапазон применений строго ограничен, но наличие специфических конструкций (таких как блоки моторов, насосов, ПИД-регуляторов и т.п.) позволяет значительно эффективнее проектировать системы автоматизации, чем с использованием языков программирования общего назначения (таких как С, Fortran, Pascal и др.). Однако для разработки и отладки математической модели ТП язык автоматизации приспособлен плохо. Более предпочтительной является реализация математической модели ТП в виде программы на языке программирования общего назначения. При этом возникает задача организации потоков данных между процессовой станцией и математической моделью, реализованной на языке программирования общего назначения.

Существует несколько способов организации таких потоков данных. Наиболее эффективным с точки зрения быстродействия представляется использование технологии OPC-сервера.

### Требования к тренажеру

Преимущественно используемая технология создания тренажерных комплексов предусматривает выполнение следующих **требований к тренажеру**:

- система должна моделировать реальные физические процессы, используя методы математического моделирования;
- тренажер должен заключать в себе модели физических процессов ТП, имитирующие свойства реального процесса с заданной точностью;
- для тренировки действий операторов в нестандартных ситуациях система должна генерировать различные возмущения в ходе моделируемых процессов как в автоматическом режиме в соответствии с заранее описанными правилами, так и с помощью обучающего инструктора;
- для сокращения времени работы инструктора система должна поддерживать автоматические режимы тренировки с использованием заранее заданного набора

- упражнений, причем в автоматическом режиме система должна не только ставить задачи перед оператором, но и выдавать рекомендации по их решению.
- тренажер должен реализовывать функцию сбора информации о действиях оператора с возможностью впоследствии составления отчетов и анализа эффективности принятых решений;
  - система должна быть распределена на несколько тренировочных станций операторов, с обеспечением возможности одновременного обучения нескольких операторов одним инструктором (при этом важным моментом с точки зрения экономии человеческих и машинных ресурсов является возможность тренировки нескольких операторов в один момент времени на разных моделях ТП);
  - система должна предоставлять возможность конфигурации наборов упражнений в соответствии с моделью объекта обучения и специфическими требованиями заказчика.

### **Этапы создания тренажера**

#### **Основными этапами создания тренажера являются:**

- изучение предоставленной инженерно-технологической документации и выработка проекта детальной функциональной спецификации (ДФС) будущего тренажера;
- сбор данных с производства, опрос персонала и систематизация данных;
- разработка модели в соответствии с ДФС на основе библиотеки модели и разработки новых моделей;
- проверка и наладка модели;
- организация обмена данными с РСУ;
- разработка методической базы тренажерного проекта, включающей в себя систему специальных тренировочных упражнений и методик обучения;
- проверка работоспособности всех систем модели и настройка ее динамических свойств в присутствии специалистов заказчика (заводские приемные испытания);
- обучение будущих инструкторов, передача рабочей и методической документации (приемные испытания на месте).

### **Процесс тренировки оператора**

#### **Тренажерный комплекс обеспечивает следующие этапы тренировки оператора АСУ**

##### **ТП:**

- изучение набора средств оператора АСУ ТП, необходимых для работы со станцией оператора;
- изучение технологического процесса и устройств в нем задействованных;
- отработка наиболее распространенных ежедневных групп операций (пуск, останов, изменение режима);
- оценка состояния ТП по имеющейся информации, обнаружение симптомов неисправности, генерация гипотез о причинах возникновения неисправности и принятие мер по приведению системы в оптимальное состояние, исходя из возникшей неисправности;
- отработка действий в условия аварийной ситуации.

Рабочее место оператора обычно состоит из терминала, с помощью которого оператор получает информацию о ходе процесса, а также клавиатуры и мыши, посредством которых оператор передает системе информацию о своих решениях. Также могут использоваться специализированные (промышленные) варианты клавиатуры и манипуляторов, отличающиеся по форме и свойствам от стандартных, использующихся для персональных компьютеров. Очевидно, что при обучении целесообразно использовать те устройства, которые будут использоваться в своей дальнейшей профессиональной деятельности.

Технологический процесс и устройства, в нем задействованные, обычно представляются

на терминале оператора в виде символов, которые можно разделить на основные классы (клапан, мотор, насос, ПИД-контроллер и т. п.). Каждый символ несет в себе определенную смысловую нагрузку и обладает набором функций, связанных с ним.

Например, символы устройств, как правило, имеют функции включения или выключения устройства, перевод устройства в автоматический режим управления и т. п. Обучаемый должен усвоить эту символику, а также получить и закрепить навыки использования всех основных функций символа каждого типа.

В работе оператора значительную часть занимают стандартные типовые последовательности, такие как пуск или останов различных участков ТП или перевод их из одного режима работы в другой. Для изучения, запоминания и повторения подобных последовательностей тренажерный комплекс должен включать набор соответствующих упражнений.

С точки зрения оператора технологический процесс представляется множеством компонентов (узлов, аппаратов, агрегатов, емкостей и т. п.), каждый из которых представлен на дисплее в виде измерений и показателей состояния. Различные наборы значений измерений и показателей состояния соответствуют различным состояниям ТП.

Оператор должен научиться и адекватно оценивать по представленной информации состояние отдельных компонентов ТП и всего ТП в целом. Таким образом, группа упражнений должна содержать задачи по оценке состояния системы, обнаружения симптомов неправильного поведения, генерации гипотез о причинах неправильного поведения, предсказания развития поведения системы в случае невмешательства, предсказания последствий воздействий на систему, упражнения по генерации воздействий, оптимальных с точки зрения приведения системы в желаемое состояние.

Кроме того, необходимы навыки работы в аварийных ситуациях, либо, если возникновение аварийной ситуации приводит к автоматическому срабатыванию некоторого алгоритма, необходима отработка навыков поведения после завершения работы данного алгоритма.

На различных этапах обучения целесообразно использовать математические модели различной сложности.

### **Обзор тренажерных комплексов**

На сегодняшний день зарубежом существует несколько современных тренажерных платформ, разработанных и поддерживаемых основными мировыми производителями компьютерных тренажерных комплексов (КТК) (ABB Simeon, Inc., Honeywell, Inc., CAE Link, Inc. и ряд других).

Созданием тренажерных систем диспетчерского управления занимаются и российские специалисты. В частности, свои научные работы посвятили данной теме Григорьев Л.И. и Митичкин С.К. Ими разработана теория для диспетчерских тренажеров по транспорту газа, методика построения диспетчерских автоматизированных тренажеров, а также разработан комплекс математического, информационного и программного обеспечения для тренажера диспетчера по решению задач оперативного управления газотранспортной системой.

Тренажерные программы также разрабатываются специалистами ООО «Энергоавтоматика». Ими разработан тренажер оператора магистрального продуктопровода, который имитирует функционирование всего продуктопровода, системы измерения, обработки и передачи информации. Математический модуль тренажера моделирует функционирование продуктопровода, системы измерения и датчиков, алгоритмы обработки информации в контроллерах нижнего уровня, процесс передачи данных по каналам связи и функционирование базы данных верхнего уровня. Этот тренажер функционирует совместно с системой управления на базе MicroSCADA германской фирмы ABB. Собственно, у данной компании есть также разработки совместно с другими SCADA: MOTOROLA SCADA, MMG SCADA, Infinity SCADA.

В Калининграде существует «Отраслевой научно-тренажерный центр». Центром разработаны АСУ и тренажеры-имитаторы по бурению, добыче газа, транспорту, переработке газа и газового конденсата, нефтегазопереработке, распределению газа. По транспорту газа создано более тридцати АСУ и тренажеров-имитаторов, одной из которых является АСУ «Эксплуатация линейной части магистрального трубопровода».

Среди российских разработчиков тренажерных комплексов следует отметить также российскую группу компаний ЗАО «Транзас» и ЗАО «Автоматизация Мониторинга Технологий» (см. далее).

Существуют также тренажерные комплексы, предназначенные для определения остаточного ресурса магистральных нефтегазопроводов, для определения долговечности трубопровода в различных режимах эксплуатации. Они помогут специалистам по управлению транспортировкой нефти и газа научиться выбирать оптимальный режим, который позволит максимально продлить срок службы трубопроводов, а следовательно будет создан столь ценный запас времени для проведения работ по профилактическому ремонту и замене «старых» участков.

В частности, в ОАО «ГИПРОтрубопровод» используется программная продукция по прогнозу ресурса трубопроводов, в основе которой лежат аналитические разработки по оценке надежности транспорта нефти и газа, созданные специалистами ОАО «ГИПРОтрубопровод», РАО «Газпром», ВНИИСПТнефть. В качестве исходных данных используются результаты экспериментальных исследований (в ходе дефектоскопии и при осмотрах) образцов металла, реально работавших на трубопроводе. На основе моделей развития дефектов под воздействием нагрузок и прогноза будущих объемов транспорта рассчитываются зависимости ресурсов до отказа всех сортов и типоразмеров сталей труб от амплитуды изменений рабочего давления.

В институте проблем транспорта энергоресурсов (ИПТЭР – бывший ВНИИСПТнефть) разработаны программы, позволяющие рассчитывать прочность, ресурс и надежность элементов трубопроводов. По словам авторов, программы дают возможность промоделировать рациональные параметры, испытательное давление, проанализировать разрушения.

Перечень программ подобного профиля достаточно велик и потому не может быть освещен полностью в рамках лекций.

Приведем несколько примеров различных видов тренажеров для нефтегазовой отрасли.

#### **Тренажер-имитатор бурения АМТ-231**

Тренажер АМТ-231 является эффективным техническим средством обучения и повышения квалификации инженерного персонала буровых подразделений нефтегазодобывающих предприятий, а также обучения студентов по специальностям бурение скважин, разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Аппаратно-программный комплекс тренажера (рисунок 2) 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: углубки, спускоподъема, цементирования, ликвидации нефтегазопрооявления.

Программное обеспечение тренажера содержит средства проектирования учебных заданий с любыми начальными условиями выполнения проводки скважин: характеристиками продуктивного пласта, конструкцией скважины, набором оборудования и инструмента, технологий выполнения основных операций, нестандартными ситуациями. Оно также содержит средства контроля и оценки действий обучаемых, ведения персональных журналов прохождения учебного процесса, формирования протокола обучения.

Преподавателю дана возможность разнообразить предустановленный ход выполнения учебных заданий вызовом имитации различных нештатных ситуаций и осложнений.

При имитации технологических процессов на экран монитора выводятся: числовые характеристики условий имитируемого процесса, графики важнейших контролируемых технологических параметров, а также анимации, отображающие в реальном времени работу оборудования, инструмента и состояние скважины. Имитация работы оборудования сопровождается звуком.

Тренажер позволяет обучаемым увидеть скрытые от прямого наблюдения процессы, происходящие в скважине (рисунок 3), наблюдать процессы возникновения и развития осложнений и аварийных ситуаций, что дает возможность приобрести и усовершенствовать практические навыки выполнения, контроля и оптимизации основных технологических процессов, распознавания и предотвращения осложнений и аварийных ситуаций, ликвидации нефтегазопрооявлений и выбросов.

Помимо одиночного исполнения в идее стенда существует исполнение в виде учебного класса, которое позволяет приобрести навыки коллективной работы в составе буровой бригады.

Базовая поставка учебного класса АМТ-231 включает лицензию на 15 рабочих мест и позволяет осуществлять индивидуальное и групповое обучение. Возможно обслуживание до нескольких десятков рабочих мест и обеспечение контроля действий обучаемых с рабочего места инструктора.

Кроме того, программное обеспечение учебного класса позволяет выполнять учебные задания как индивидуально, так и в составе бригады.

Преподавателю в исполнении «учебный класс» даны следующие возможности:

- варьировать форму проведения занятий с помощью режимов: отдельная задача для каждого, общая задача для всех и режим обучения «смотри на меня»;
- полностью контролировать работу всех обучаемых со своего рабочего места;
- назначать задания и организовывать коллективную работу;
- разнообразить предустановленный ход выполнения учебных заданий вызовом имитации различных нештатных ситуаций и осложнений.



Рисунок 2. Тренажер-имитатор бурения АМТ-231

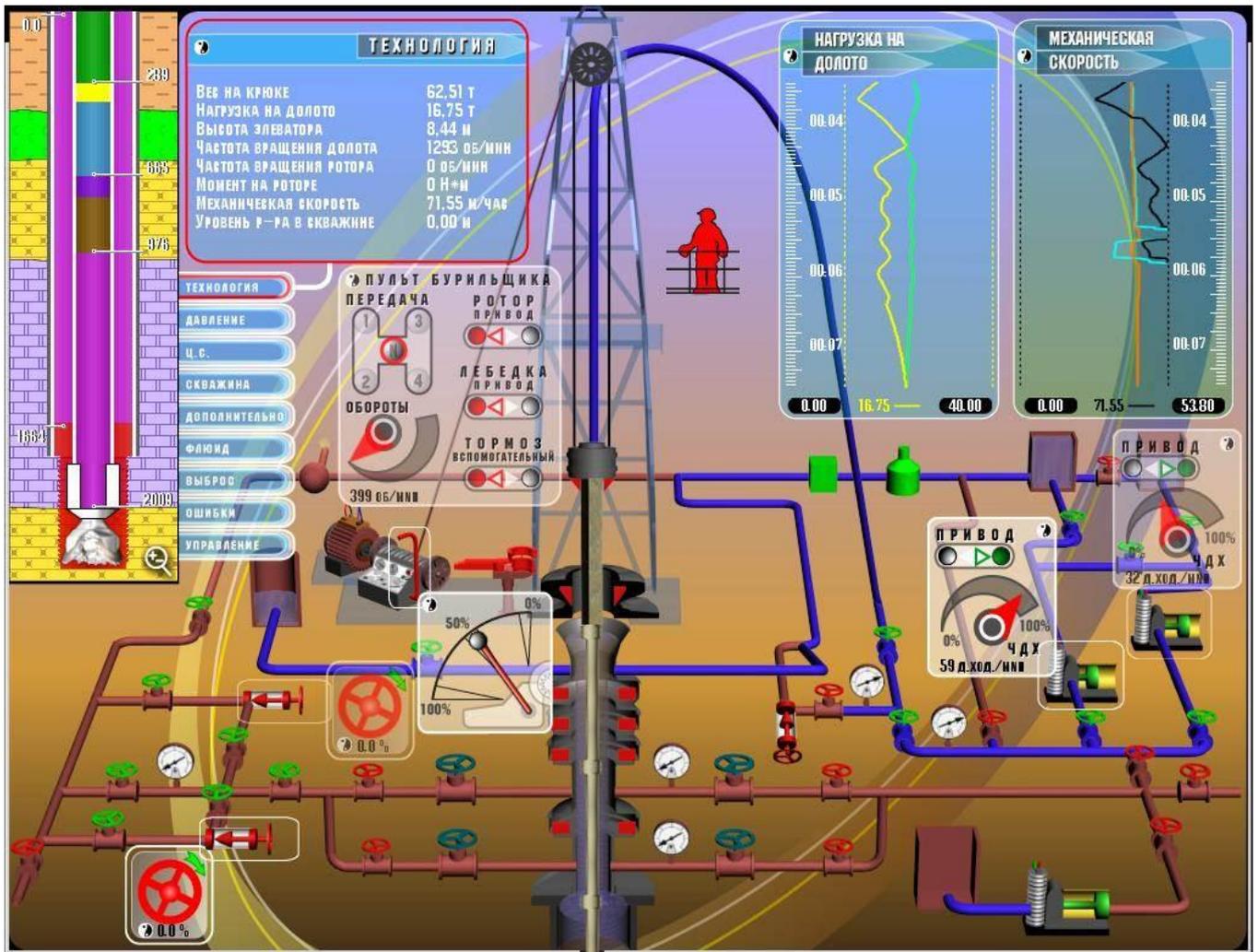


Рисунок 3. Интерфейс оператор тренажера-имитатора бурения АМТ-231

### Тренажер-симулятор бурения DART

КСА DEUTAG является разработчиком тренажера бурения DART (Drilling and Advanced Rig Training) – компьютерной системы, позволяющей отрабатывать навыки бурения и различные инженерные сценарии в режиме реального времени с применением технологии внутрискважинного моделирования.

3D-графика, симуляция в режиме реального времени (рисунок 4) и звуковые спецэффекты позволили тренажеру DART получить признание в качестве востребованного обучающего тренажера в нефтегазовой индустрии. Тренажер обеспечивает отработку практических навыков работы на буровых установках, равно как и сценарии по оптимизации буровых работ.

В системе DART используется программное обеспечение, которое эффективно интегрирует и воспроизводит скважинные условия; таким образом практиковаться на тренажере могут в безопасных условиях как новички, так и опытные специалисты, используя реальные проектные данные по скважинам. Такой подход к обучению способствует значительному снижению непроизводительного времени при запуске новых буровых станков.



Рисунок 4. Тренажер-симулятор бурения DART

Возможности тренажера следующие:

- обеспечивает реалистичные практические решения в процессе обучения и подготовки буровых бригад до начала работы на новой буровой установке или начала нового проекта по бурению;
- позволяет пробурить виртуальную скважину по заданным проектным параметрам и выявить потенциальные проблемы;
- способствует повышению эффективности коммуникаций и сплоченности буровых бригад.

Среди клиентов, воспользовавшихся обучающими программами тренажера DART, компании BP, CNR, Shell, ТНК-BP и Университет имени Роберта Гордона.

#### **Тренажер-имитатор капитального ремонта скважин АМТ-411**

Тренажер предназначен для обучения рабочего и инженерного персонала подразделений капитального ремонта скважин нефтегазодобывающих предприятий, а также студентов по специальностям бурение скважин, разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Аппаратно-программный комплекс тренажера (рисунок 5) состоит из пультов и постов управления оборудованием для капитального ремонта скважин, персонального компьютера и программного обеспечения. Тренажер имитирует в реальном и ускоренном масштабах времени технологические процессы капитального ремонта скважин: глушение скважины, ремонтное цементирование, разбуривание, спуско-подъем, ликвидацию нефте-газопроявлений при бурении, обработку призабойной зоны, освоение скважины свабом, освоение скважины компрессором, гидроразрыв пласта, гидропескоструйную перфорацию.



Рисунок 5. Тренажер-имитатор капитального ремонта скважин АМТ-411

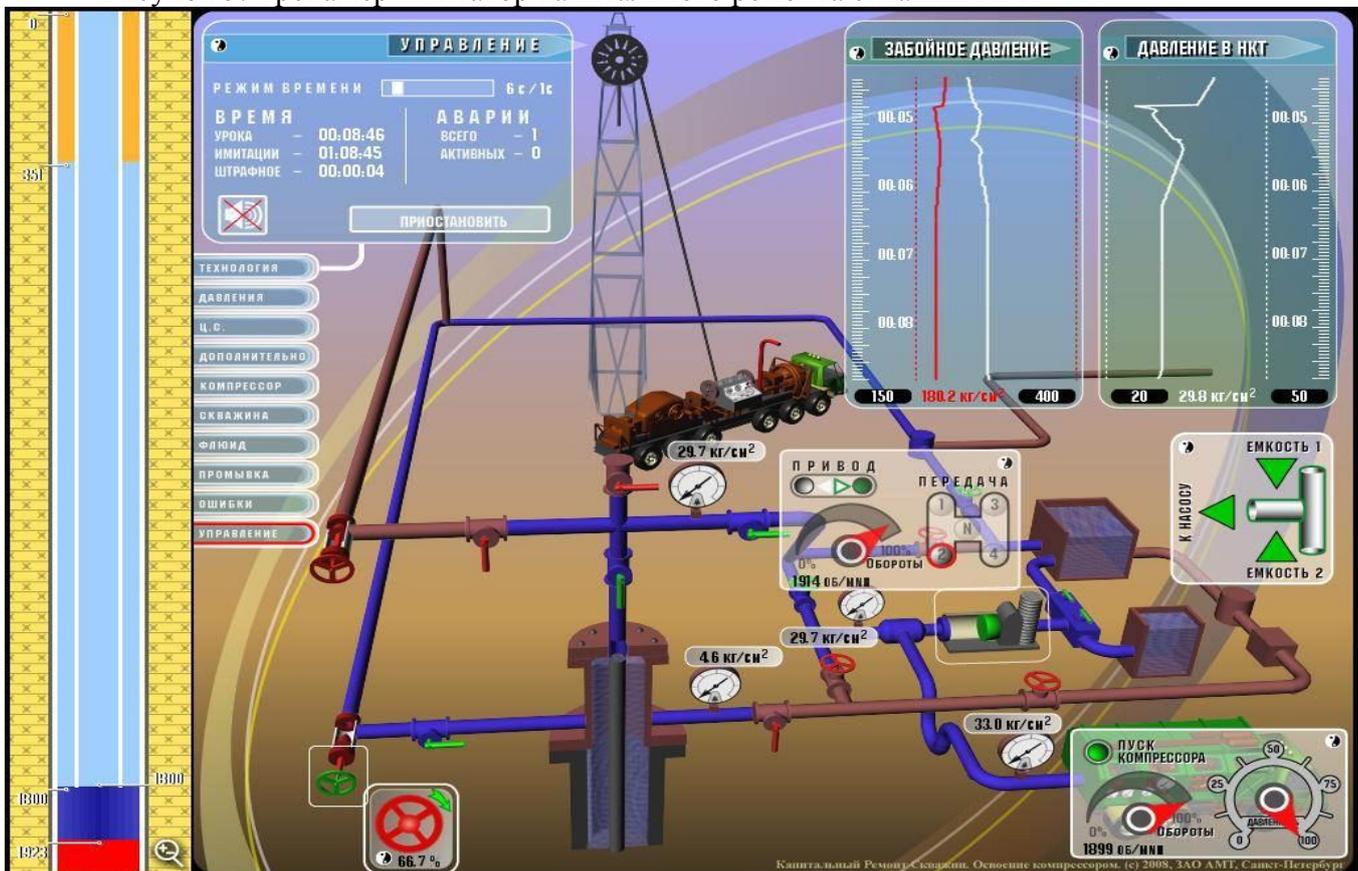


Рисунок 6. Интерфейс оператора тренажера-имитатора капитального ремонта скважин АМТ-411

Также, как и в случае АМТ-231 существует исполнение «учебный класс» с аналогичными характеристиками.

### Тренажер-имитатор эксплуатации и освоения скважин АМТ-601

Тренажер (рисунок 7) предназначен для инженерного персонала добывающих подразделений нефтегазодобывающих предприятий, а также студентов по специальности разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Тренажер имитирует в реальном и ускоренном масштабах времени технологические операции:

- освоение и вывод на режим;
- исследования на установившемся и неустойчивом режиме;
- эксплуатация в осложненных условиях.

Тренажер позволяет проводить обучение для работы с:

- нефтяными скважинами
  - фонтанным способом;
  - с помощью центробежных насосов;
  - с помощью штанговых насосов;
  - газлифтным методом;
- газовыми скважинами;
- нагнетательными скважинами.

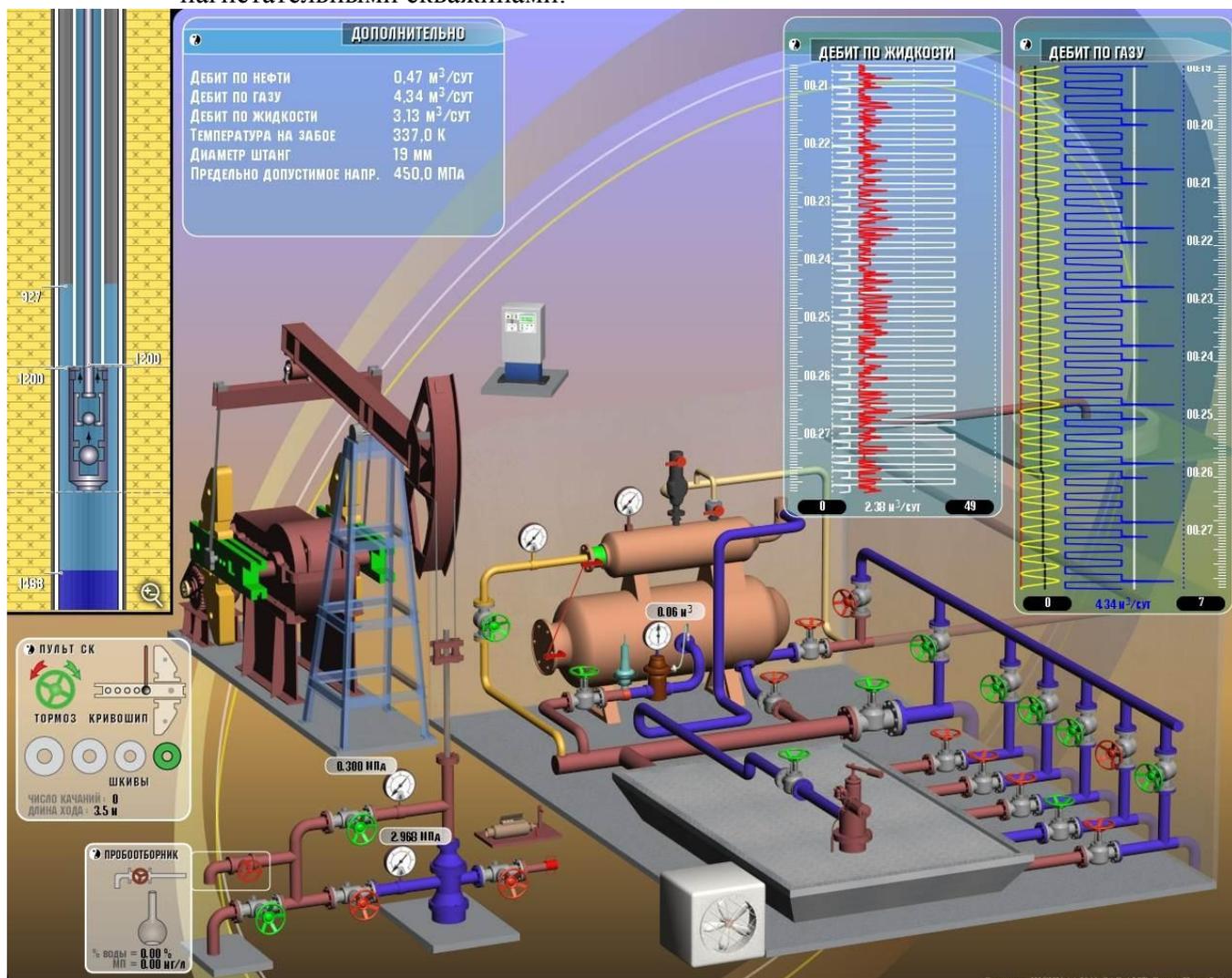


Рисунок 7. Тренажер-имитатор эксплуатации и освоения скважин АМТ-601

Программное обеспечение тренажера содержит средства проектирования учебных заданий с любыми начальными описаниями скважин: типом скважины, характеристиками продуктивного пласта, свойствами флюида, набором оборудования, нестандартными ситуациями. Оно также со-

держит средства контроля и оценки действий обучаемых, ведения персональных журналов прохождения учебного процесса, формирования протокола обучения.

Учебный класс тренажера АМТ-601 является эффективным техническим средством обучения и повышения квалификации работников добывающих предприятий. Позволяет приобрести и усовершенствовать практические навыки выполнения и соблюдения регламента работ, исследования скважин, распознавания и предотвращения осложнений и аварийных ситуаций. Приобрести понимание физических процессов в скважине.

Базовая поставка учебного класса АМТ-601 включает лицензию на 15 рабочих мест.

### **Тренажер технологической платформы «Транзас»**

Это оборудование предназначено для отработки операций, непосредственно связанных с добычей нефтяных запасов, подготовкой нефти для транспортировки, хранением нефти в танках кессона и периодической отгрузкой ее на танкеры (рисунок 8).

В тренажере технологической платформы смоделированы следующие механизмы и системы:

- система хранения и отгрузки нефти;
- система заборной воды;
- система сепарации нефти;
- система компримирования газа;
- система поглотительного газа;
- система подготовки топливного газа;
- система утилизации пластовой воды;
- система подготовки балластной воды перед использованием для ППД;
- система закачки воды для поддержания ППД;
- поведение скважины;
- система устьев скважин.



Рисунок 8. Тренажер технологической платформы «Транзас»

Кроме того, предусмотрена возможность интеграции с другими технологическими решениями «Транзас» нефтегазовой направленности (такими как, тренажер рабочего места бурильщика и тренажер морской составляющей полупогружной плавучей буровой платформы) для созда-

ния единой интерактивной обучающей среды.

Новый тренажер технологической платформы входит в состав интегрированного комплекса «Добыча-Шельф», предназначенного для подготовки специалистов по освоению континентального шельфа и включающего в себя тренажеры установок морского базирования, тренажеры точек отгрузки и танкеров арктического класса.

### **Тренажер нефтеналивного терминала**

Компанией Транзас совместно с Kumenlaakso Polytechnic был разработан тренажер технологических операций многоцелевого терминала (рисунок 9), который используется для отработки принципов загрузки танкеров. Тренажер позволяет отрабатывать взаимодействие оператора терминала и грузовых помощников танкера.



Рисунок 9. Тренажер нефтеналивного терминала

На сегодняшний день тренажер грузовых операций нефтеналивного терминала предназначен для обучения операторов терминала: грузового мастера и инженера парковой зоны. Основной целью подготовки является тренинг и отработка навыков по диспетчерскому управлению. В ходе подготовки вырабатываются навыки по управлению, распределению емкостей парка, способность отслеживать и держать в памяти все операции, происходящие в сложном переплетении систем терминала, и адекватно реагировать на технологические и погодные изменения, при этом учитывая технические возможности систем. Дополнительно требуется оперативно оценивать возможные последствия своих действий, а также изменения в цепочке технологических операций, плюс новые ограничения и возможности.

В результате, упражнения загрузки/выгрузки реального танкера для терминала могут быть объединены в один технологический цикл, либо использоваться как отдельные упражнения, которые позволяют обучить строго определенным операциям по применению отдельных систем или их элементов. Тренажер позволяет загрузить упражнение, описывающее начальное состояние и приблизительный сценарий подготовки. Инструктор способен изменять в произвольном порядке ход выполнения упражнения и «вносить» различные неисправности и ограничения. Упражнение может быть остановлено только в случае вывода из строя важнейшего оборудования или создания «экологической катастрофы».

Для обеспечения эффективного тренинга в качестве прототипа тренажера был выбран многоцелевой терминал (емкостью 700 000 м<sup>3</sup>), способный обрабатывать VLCC, LCC танкера, возможности которого полностью перекрывают весь технологический цикл работы терминала и могут быть дополнены пожарными системами и системами станции загрузочных/разгрузочных цистерн вагонов. Терминал позволяет отработать следующие операции:

- получение жидкого груза из железнодорожных цистерн, а также перекачка грузов из подземных хранилищ и подвижных цистерн в расходные резервуары или на борт судна через конструкции наливного причала;
- обслуживание расходных резервуаров и проведение грузовых операций по внутренним перекачкам, разгрузке и выгрузке судов;
- зачистка танков, мойка и перекачка грузов в подземные резервуары длительного хранения;
- использование систем перекачивающих насосов для загрузки, выгрузки по одной линии, перекачки грузов на борт судна из расходных резервуаров или подземных резервуаров длительного хранения, измерения количества перекачиваемого груза.
- использование систем наливного причала для загрузки и выгрузки грузов танкеров (бустерные насосы причала используются для облегчения выгрузки с помощью судовых насосов);
- поддержание безопасного уровня кислорода в атмосфере танков и ограничения выбросов СНх в окружающую среду, которые могут быть причиной взрыва или пожара (система защищает резервуары от повышения давления и образования вакуума).
- сбор дождевой воды или загрязнений из защитных объемов, отслеживания и регистрации качества сбрасываемой в море воды;
- использование балластной системы для обработки балластной воды с судов и сброса ее в море.



Рисунок 10. Интерфейс тренажера наливного терминала

В тренажере используется универсальная математическая модель, построенная на основе принципа единства топологической расчетной схемы систем терминала и танкера, образующих единую трубопроводную систему. Применение графовых алгоритмов позволяет автоматически разделять расчетную область на отдельно разрешаемые блоки. В основу уравнений модели положены базовые законы сохранения массы, энергии и уравнения состояния, которые позволяют учитывать все энергетические эффекты, включая фазовые переходы при смене параметров окружающей среды.

Кроме того, применена визуализация, имитирующая 32 внешние камеры (рисунок 11) видеонаблюдения, которые расположены в наиболее ответственных местах терминала так же, как это делается на современных аналогах и новых танкерах. Это приближает учебное место тренажера к реальному посту управления терминала, ведь именно видеонаблюдение позволяет оценивать параметры работы, неконтролируемые системой управления, например, протечки в трубопроводах и цистернах. Внедрение внешнего видеонаблюдения позволяет создать новую концеп-

цию обучения, которая направлена на подготовку специалистов для работы с современными системами управления, рассчитанными на малое количество персонала.



Рисунок 11. Имитация внешних камер наблюдения

#### **КТК-М (компьютерный тренажерный комплекс многофункциональный)**

КТК-М был разработан ранее существовавшей российской компании «Петроком», в данный момент являющейся частью Honeywell – компании-лидера по внедрению тренажерных комплексов в мире. Вкратце рассмотрим исторический путь отечественной разработки.

В своих первых тренажерных проектах (1992-1994 гг.) «Петроком» использовал русифицированный вариант платформы своего партнера – американской фирмы Atlantic Simulation, Inc., разработавшей первый КТК для нефтяной отрасли на базе ПК. В течение 1992...1994 гг. «Петроком» выполнил четыре разработки на базе описанной платформы: на нефтезаводах в Омске, Москве, Ангарске и на Нефтехимическом комбинате в Нижнекамске, причем на первых трех площадках с небольшими вариациями комплектовался учебный класс из 3...4 КТК и 10...12 тренажерных моделей (базовые процессы: теплообменники, сепараторы, смесители, простые компрессоры, насосы и клапаны, бойлеры; бинарная дистилляция; печь-нагреватель; типовые установки: каталитический крекинг, атмосферное и вакуумное разделения нефти, замедленное коксование, центробежный компрессор). На Нижнекамском НХК тренажер центробежного компрессора установлен непосредственно в компрессорном отделении производства этилена.

Следующий этап тренажерной деятельности «Петрокома» (1993–1995 гг.) состоял в собственной разработке и внедрении специализированных моделей технологических установок на базе тренажерной MS-DOS платформы. Были выполнены и введены в практику обучения три такие модели: атмосферный блок установки первичной переработки нефти для Омского НПЗ и установок каталитического риформинга и газофракционирования для Ангарской НХК.

В 1994...1996 гг. значительные усилия «Петрокома» были приложены к разработке собственной современной тренажерной платформы. Новая платформа (сертифицированная под названием КТК-М – многофункциональный КТК) была реализована на IBM PC-совместимых ПК с процессорами «Pentium» под многозадачной операционной системой Windows NT с сетевой архитектурой клиент-сервер. Платформа предусматривала возможность связи с РСУ и высокоточное эмулирование операторских интерфейсов. Оптимальный объем оперативной памяти составлял 24 Мбайта, дисковой – 100 Мбайт. Возможным было объединение в сеть станции инструктора и нескольких станций оператора, работающих одновременно с разными тренажерными моделями. Программное обеспечение КТК-М выполнено на языке C++.

В данной тренажерной платформе существенно были расширены вычислительные возможности: модель, содержащая 2000...3000 дифференциальных и 1000 алгебраических уравнений, разрешалась со скоростью до 10 раз в секунду. Эти параметры позволяли моделировать

крупные технологические объекты типа установки АВТ (блоки обессоливания, атмосферный и вакуумный, блок вторичной перегонки, энергетические утилиты) или установки каталитического риформинга с непрерывно восстанавливаемым катализатором (каталитические реакторы, печи, транспорт катализатора).

За 1996...1998 годы «Петроком» осуществил два больших проекта на базе КТК-М: тренажер для операторов производства ароматики Омского НПЗ и тренажер операторов установки синтеза полиэтилена высокого давления (ПЭВД) Ангарской НХК (совместно с НПО «ЦНИИ-КА»). Первый проект охватывает три большие модели: установки фракционирования ксилолов, выделения параксилола (ПАРЕКС) и экстракции ароматики сульфоланом.

В 2005 году Honeywell, Inc. приобрела «Петроком», но это не поставило крест на разработках российской компании и тренажерный комплекс КТК-М теперь является значимой частью решений, предлагаемых Honeywell.

Вообще, за период с 1996 по 2010 год на базе КТК-М выполнено более 30 специализированных и более 80 типовых тренажеров на 25 технологических площадках в России и за рубежом.

Существуют три линейки тренажерных продуктов, предлагаемых Honeywell на платформе КТК-М, для каждой из которых используется своя тренажерная модель.

**Специализированная тренажерная модель** – это модель ТП, в полной мере воспроизводящая специфику конкретной установки: технологические аппараты, обвязку, систему управления. Такая модель с достаточной точностью воспроизводит динамику реального ТП. Требования точности в полной мере касаются и операторского интерфейса: то, что оператор видит на экране распределенной системы управления или SCADA-системы в точности воспроизведено в тренажере.

Такие специализированные тренажерные модели незаменимы при переводе установки со щитовой системы управления на компьютерную. Привыкшие к щиту операторы, пройдя курс компьютерного тренинга, быстрее осваивают незнакомую для них РСУ и делают намного меньше ошибок, в результате чего существенно сокращаются сроки ввода новой или модернизированной установки в эксплуатацию и уменьшаются потери, неизбежные при неэффективном ведении ТП. Еще одно преимущество специализированных тренажерных моделей – возможность использования их в качестве испытательного полигона для новых систем управления.

Специализированные модели позволяют заказчикам быстро и эффективно проверить сложные системы блокировок с разветвленной логикой, выявить и устранить незамеченные в ходе проектирования и реализации ошибки и, тем самым, ускорить ввод в эксплуатацию модернизированной установки. И, наконец, хорошая специализированная модель помогает не только инженеру КИП, но и технологу. Так, эксперименты по подбору температурного режима реакторного блока установки каталитического риформинга проще и дешевле проводить на тренажере, чем на самой установке.

При обучении операторов менее высокой квалификации или пришедших на данную установку после работы на других используются **модели типовых технологических установок**, которая позволяет «абстрагироваться» от особенностей конкретных, индивидуальных установок, сохраняя все главные элементы технологии и системы управления, которые необходимы для обучения. При значительно меньшей стоимости такой модели по сравнению с индивидуальной, специализированной, она сохраняет все основные достоинства последней: полномасштабность, реалистичную динамику и методическую наполненность.

На рисунке 12 представлен один из операторских экранов модели «типовой» установки каталитического риформинга (типа Л-35-11/600). Эта модель охватывает блоки гидроочистки, отпарки, риформинга и стабилизации, системы подачи топливного газа и оборотной воды. Она включает в себя 3 колонны, 5 реакторов, 2 печи, поршневые и центробежный компрессоры, теплообменники, воздушные и водяные холодильники, насосы и другое оборудование. В моделируемой системе управления реализованы около 30 контуров ПИД-регулирования, более 100 датчиков, десятки ручных задвижек и отсекателей, система блокировок.

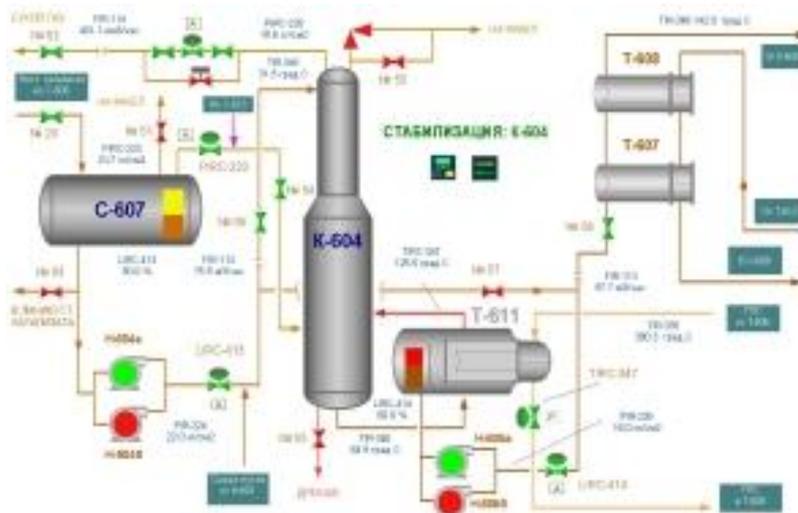


Рисунок 12. Операторский экран модели «типовой» установки каталитического риформинга (типа Л-35-11/600)

Еще один пример – модель типовой установки первичной переработки нефти (АВТ-6). Она охватывает блоки подогрева сырья и обессоливания, колонну К-1, атмосферную колонну со стриппингами, атмосферные и вакуумные печи, вакуумную колонну с вакуум-создающей системой, весь блок стабилизации и разделения бензинов.

С помощью библиотеки моделей типовых процессов нефтепереработки могут быть смоделированы следующие процессы:

- первичная переработка нефти (ЭЛОУ-АВТ);
- каталитический риформинг бензинов (ароматического или топливного профиля);
- гидроочистка дистиллятов;
- фракционирование предельных газов (ГФУ);
- висбрекинг гудрона;
- производство водорода;
- производство серы;
- пропановая деасфальтизация масел;
- замедленное коксование (установка с 4 коксовыми камерами) и др.

Будущим операторам, прошедшим необходимую теоретическую подготовку в учебных классах, но не обладающим производственным опытом и не обучавшимся ранее на компьютерных тренажерах больших технологических установок Honeywell предлагает обучаться на **моделях базовых технологических узлов и аппаратов** – типовых элементах технологического оборудования и систем управления.

На базе моделей базовых технологических узлов и аппаратов возможна реализация следующего оборудования и процессов:

- насос и клапан;
- жидкостной поток (система емкостей);
- центробежный компрессор со вспомогательными системами;
- смесительный резервуар;
- теплообменник;
- сепаратор;
- бойлер с мазутной топкой (рисунок 13);
- печь-нагреватель на смешанном топливе с текущим анализом эффективности;
- ректификация двухкомпонентной смеси с текущим анализом эффективности;
- основы базового автоматического регулирования;
- основы расширенного автоматического регулирования.

КТК-М работает на стандартных IBM PC-совместимых компьютерах и не требует специального обслуживания и инженерного сопровождения. Состав комплекса типовой (рисунок 1). На станции инструктора реализуется широкий набор современных средств автоматизированного обучения персонала, включая такие функции как: выбор модели, выбор начальных условий мо-

делирования, поддержание режимов «Работа/Стоп», просмотр переменных процесса, просмотр регулирующих позиций процесса, создание, выбор и активизация «моментальных снимков» состояния процесса, изменение скорости моделирования процесса, активизация дистанционных операторских ключей, активизация инструкторских ключей (отказы оборудования, изменение внешних условий и т.п.), создание и активизация сценариев обучения, активизация функций удаленного управления, составление и хранение протокола сеанса обучения.

Вместе с комплексом поставляется комплект рабочей документации. В этот комплект входят описания рабочих станций обучаемого и инструктора, руководства по обучению и справочные руководства для обучаемых операторов.

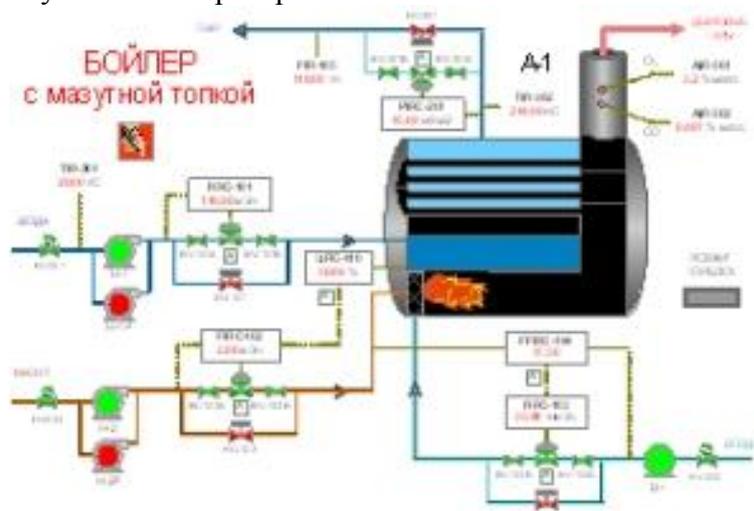


Рисунок 13. Операторский интерфейс модели «Бойлер с мазутной топкой»

Для каждой тренажерной модели разработана система тренировочных упражнений, охватывающих наиболее типичные нештатные ситуации, которые могут возникнуть на реальном производстве: отказы технологического оборудования и элементов управления ТП, изменения внешних условий и т.д. Каждое руководство по обучению содержит подробное описание этих упражнений, а также детальные стандартные процедуры управления (пуск, нормальный и аварийный останов технологического узла или аппарата).

### UniSim

Система UniSim является разработкой Honeywell и представляет собой набор унифицированных средств моделирования, позволяющих улучшить функционирование предприятия в течение всего жизненного цикла – от проектирования технологических процессов с использованием статических и динамических моделей, проверки системы управления и обучения операторов до использования в режиме реального времени для управления и оптимизации, мониторинга и планирования работы предприятия.

UniSim обеспечивает существенно расширенные возможности «off-line» и «on-line» моделирования для проектирования, инжиниринга, обучения операторов и оптимизации хода технологических процессов. Пользователи системы получают удобные возможности сбора и доступа к знаниям о технологическом процессе. Это повышает рентабельность предприятия и обеспечивает максимально выгодные условия возврата инвестиций в технологии моделирования.

В рамках линейки UniSim предлагаются следующие продукты, применяемые при обучении и тренировке: система динамического моделирования для повышения эффективности управления технологическими процессами и обучения персонала UniSim Operations и система имитационного моделирования UniSim Design.

Программный пакет **UniSim Operations** вобрал в себя самые лучшие стороны предыдущего решения Honeywell, Shadow Plant, а также программного обеспечения для имитационного моделирования, приобретенного у компании AspenTech. Программный пакет использует распределенную архитектуру, что сняло ограничения, связанные с нехваткой вычислительных ресурсов. Модели могут полностью строиться на базе реальных данных, полноценных физических характеристик, и в то же время вычисления могут реализовываться с минимальной временной скажностью. При моделировании в реальном времени это позволяет обеспечить: более высокую точ-

ность, как в задачах обучения операторов, так и в инжиниринге; возможность проводить моделирование сложных технологических объектов, содержащих несколько установок; возможность воспроизводить сложные приложения (в т.ч. системы управления).

Основными компонентами Тренажера UniSim являются:

- платформа UniSim;
- рабочее место инструктора;
- рабочие места операторов.

Платформа Unisim – это базовый механизм, обеспечивающий управление и синхронизацию различных задач и прикладных приложений для проведения высокоточного имитационного моделирования крупномасштабных процессов в режиме реального времени. Задачи и приложения обычно распределяются по нескольким ПК.

Рабочее место инструктора – это главный интерфейс для управления процессом обучения. Инструктор работает с настраиваемым графическим интерфейсом (рисунок 14), который обеспечивает широкий набор возможностей, в частности:

- управление сессией тренинга – выбор модели, создание/загрузка «моментальных снимков» (начальных состояний), автоматическое и ручное запоминание моментальных снимков, возврат к предыдущим начальным состояниям, инициализация данных с технологической установки;
- управление временем – приостановка, возобновление, ускорение и замедление моделирования;
- инструменты инструктора – экраны для мониторинга динамики процессов, переменные инструктора, функции полевого оператора (удаленного управления), экран многопеременных трендов, видео с привязкой к моделируемым событиям, доступ к моделируемым переменным, экраны параметров технологических потоков, процедуры управления;
- оценка результатов – автоматические тренировочные упражнения, проигрывание сценариев, внесение возмущений в ход моделируемых процессов, мониторинг тревожных сообщений и событий, контроль и оценка знаний, отчеты и протоколы;
- среда и механизм моделирования процессов (см. ниже);
- воспроизведение среды управления (см. ниже).

Стандартный пользовательский интерфейс UniSim Design, показанный на рисунке 15, обеспечивает среду моделирования процессов. Это наглядный интерактивный инструмент для представления технологических процессов, который позволяет настраивать конфигурацию моделей в графическом виде путем добавления модулей с палитры процессов, а также управлять моделируемыми элементами оборудования, соединяя потоками их входы и выходы и определяя значения параметров. Кроме того, UniSim Design – это механизм имитационного моделирования процессов для разработки и исполнения как статических, так и динамических моделей. Расширенная система физических свойств и термодинамики поддерживает свойства веществ и материалов, типичных для разных отраслей.

Также важно, чтобы обучение проходило в условиях, приближенных к реальным. Лучше всего, когда оператор работает за настоящей консолью РСУ. Поэтому системы UniSim обычно комплектуются двойным набором консолей, чтобы оператор имел доступ к тому же набору функций, который есть в диспетчерской. Однако возможно реализовать операторский интерфейс РСУ и на обычных ПК.

Ключевое отличие между моделью собственно технологического процесса и моделью технологической установки реального предприятия состоит в том, что последняя предполагает высокоточное воспроизведение поведения распределенной системы управления (РСУ) и системы противоаварийной защиты. Для некоторых РСУ эти системы можно эмулировать в среде UniSim, в других случаях моделирующая среда связывается с эмулируемыми контроллерами, предоставляемыми поставщиками РСУ.

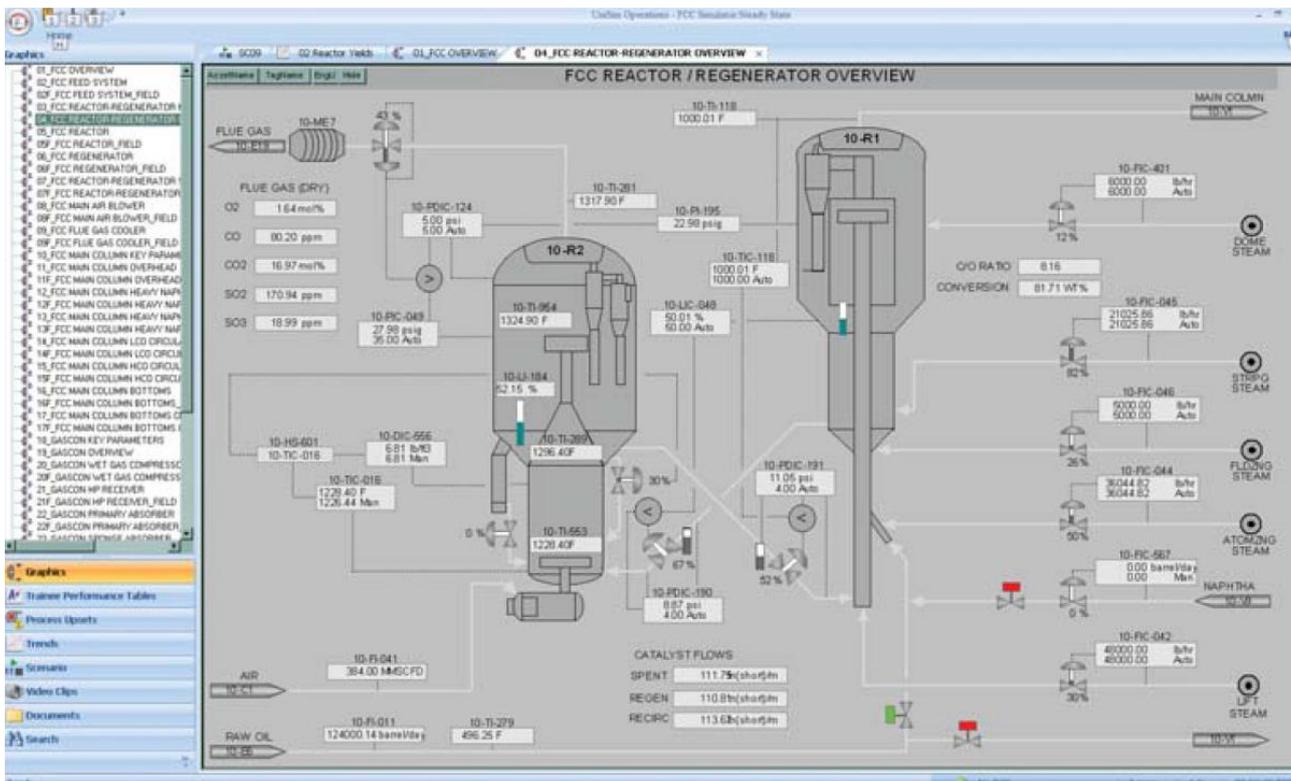


Рисунок 14. Интерфейс Unisim Operations

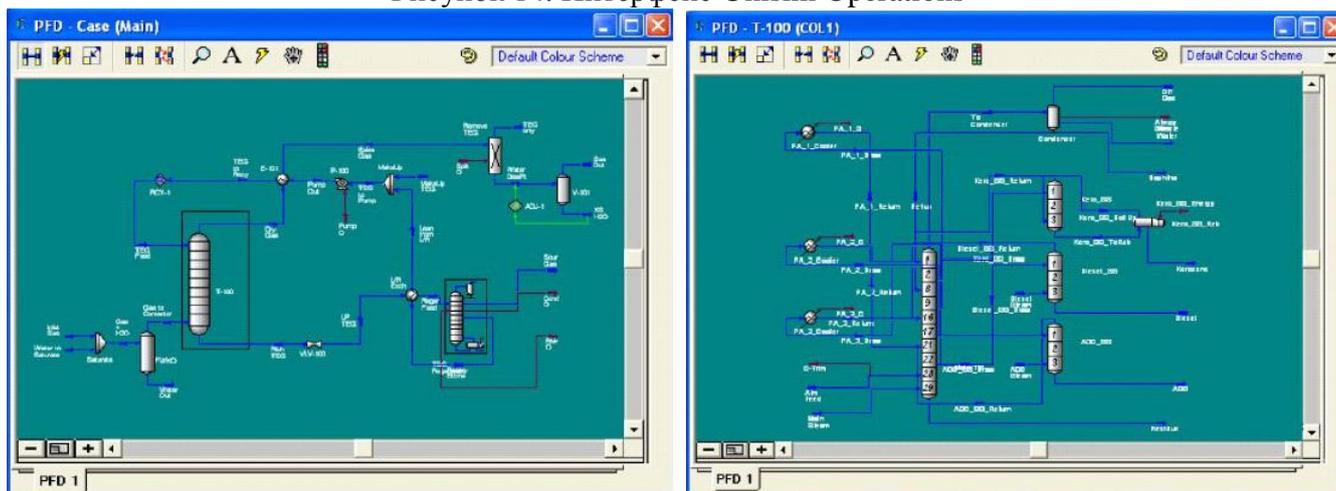


Рисунок 15. Интерфейс пользователя Unisim Design

Программное обеспечение **UniSim Design** (последняя версия продукта R390 вышла весной 2009 г.) содержит последнюю версию HYSYS и, используемая не как стандартный интерфейс оператора в составе Unisim Operations, предлагает статистическое и динамичное моделирование, дизайн, контроль качества работы, оптимизацию и бизнес-планирование для предприятий по добыче и переработке нефти и газа, а также для предприятий химической промышленности.

Ключевыми характеристиками UniSim Design являются:

- удобная в использовании многооконная Windows-среда (рисунок 15): технологические схемы обеспечивают наглядные графические представления ТП;
- мощный термодинамический пакет: обеспечивается аккуратный расчет физических свойств, свойств тепло- и массопереноса, фазового поведения для нефтегазовых, нефтеперерабатывающих и нефтехимических процессов; Поддерживается широкая база данных по компонентам, имеется возможность добавлять пользовательские компоненты;
- протокол ActiveX (OLE Automation): возможна интеграция с технологическими модулями и описаниями кинетики реакций, созданными пользователями, а также со специализированными пакетами физико-химических свойств. Обеспечивается легкая связь с программами MS Office через VBA;

- богатые библиотеки технологических модулей, реализующие в статических и динамических режимах различные процессы разделения, химические реакции, операции переноса тепла, ротационное оборудование, логические операции; указанные модули проверены на получение реалистических результатов и возможность моделирования разнообразных нестандартных ситуаций, таких как опустошение и пополнение емкостей, обратные потоки, захват насосом инородной среды и пр.

В тренажерной библиотеке – множество специализированных моделей технологических установок нефтепереработки, нефтехимии и химии, включая сложные установки первичного разделения нефти, гидроочистки, каталитического риформинга, каталитического крекинга и другие процессы различных лицензиаров. Кроме того, поскольку известный технологический лицензиар – компания UOP – является дочерней компанией Honeywell, в библиотеке UniSim Design находятся эксклюзивные динамические модели ТП разработки UOP (Unionfining, Platforming, TotaRay, Isomar, Parex, Molex, CycleMAX, Unioncracking, Penex, Alkylation и др.).

Также в UniSim Design поддерживается полный набор моделей технологических аппаратов, включая дистилляционные колонны, реакторы, теплообменное оборудование, ротационное оборудование. Поддерживается работа с твердыми веществами и в смешанных средах (вибрационное сито, рукавный фильтр-пылеуловитель, центрифуга, конвейер, дробилка и ротационный измельчитель). Имеется большой выбор логических элементов, элементов конфигурирования системы управления. Реализуется моделирование разнообразных технологических ситуаций.

UniSim Design располагает специальными пакетами расчета термодинамики, обслуживающими моделирование всего спектра ТП. Вместе с новой моделью фтористо-водородных соединений в UniSim Design добавлен и пакет ее термодинамических свойств.

Программный пакет для моделирования электролитов работает с гипотетическими компонентами, определенными пользователем. В пакет входят модель смешанных растворителей электролита и анализатор коррозии.

Продвинутый инструментарий обеспечивает высокую функциональность UniSim Design на основе таких эксклюзивных опций, как матрица причинно-следственных зависимостей; планировщик событий (автоматизация операций, позволяющая создать последовательности действий при пуске и останове); новое средство верификации балансов (Simulation Balance Tool), обеспечивающее механизм проверки материального и энергетического балансов.

Обеспечивается преемственность UniSim Design относительно системы HYSYS. В UniSim Design поддерживает чтение любых файлов моделирования, сохраненных в формате Aspen HYSYS 2006 или более старых версий. Также поддерживается сохранение файлов моделирования UniSim Design в формате HYSYS 2006. Таким образом, они могут быть использованы в обеих системах, что дает преимущество пользователю при переходе на UniSim Design.

### **Тренажер «Управление в нефтегазовой отрасли»**

Тренажер является разработкой лаборатории информационных управленческих систем «ЛАБИУС» и иллюстрирует пример тренажера первого уровня – уровня предприятия.

Тренажер «Управление в нефтегазовой отрасли» (рисунок 16) имитирует процесс реализации проекта по разработке крупномасштабного нефтяного месторождения. Нефтяная корпорация получает лицензии на разработку шести крупных месторождений. Для освоения месторождений создаются шесть дочерних нефтяных компании, в задачи которых входит быстрое и эффективное освоение месторождений. От степени эффективности реализации деятельности по освоению месторождения зависит объем финансирования компании. В рамках общего бюджета корпорации наиболее эффективные предприятия получают большее количество денежных средств, чем менее эффективные. Таким образом, реализована конкурентная модель тренажера, основанная на соревновании игровых команд в показателях эффективности реализации проекта.

Процесс освоения нефтяного месторождения предполагает последовательную реализацию нескольких этапов, каждый из которых имеет собственное предназначение, цели и задачи:

- Этап «Оценка». На данном этапе производится оценка потенциала месторождения и специфики реализации проекта по его освоению.

- Этап «Выбор». Этап включает в себя выбор предпочтительного варианта разработки проекта, в соответствии с бизнес-задачами корпорации, оценку стоимости проекта и разработку план-графика его реализации.
- Этап «Определение». Данный этап предполагает итоговое определение объема работ по проекту, разработку проектно-сметной документации, разработку контрактной стратегии с подрядными организациями, получение внутренних и внешних разрешений для дальнейшей реализации проекта.
- Этап «Реализация». Этап реализации проекта включает в себя выполнение запланированных объемов работ по строительству ключевых объектов и инфраструктур, бурению скважин, пуско-наладочным работам и т.д.
- Этап «Эксплуатация». На этапе эксплуатации месторождения осуществляется добыча, очистка, подготовка и транспортировка нефти, а так же управление производственным процессом, выполнение профилактических работ, наем и развитие персонала.



Рисунок 16. Тренажер «управление в нефтегазовой отрасли»

Процесс освоения месторождения в тренажере предполагает решение участниками следующих задач:

- геологоразведка участков месторождения;
- управление проектной командой и обеспечение персоналом нефтепромысла;
- бурение и строительство скважин;
- организация проектных работ;
- строительство объектов добычи, очистки и подготовки нефти, обеспечивающих инфраструктур;
- организация логистики и доставки грузов;
- взаимодействие с поставщиками и подрядчиками;
- энергетическое обеспечение нефтепромысла;
- строительство нефтепровода и транспортировка нефти;
- охрана труда, промышленная безопасность и охрана окружающей среды.

Эффективность реализации проекта и успешность игровых команд (рейтинг) оценивается по ключевым инвестиционным показателям: чистая приведенная стоимость (NPV), дисконтированная стоимость инвестиционных затрат (PVI), индекс доходности проекта (PI), внутренняя норма доходности (IRR) дисконтированный срок окупаемости проекта (DPP).

В ходе прохождения тренажера игроки сталкиваются с факторами, затрудняющими процесс реализации проекта: природно-климатические факторы, геологические риски, изменение цен на рынках энергоносителей, негативное влияние ненадежных подрядчиков, сокращение объемов финансирования проекта, изменение государственной политики и др.

### **Автоматизированные системы обучения**

Качество принимаемых оператором решений напрямую зависит от уровня владения им двумя базовыми навыками, необходимыми для безопасного и эффективного управления техноло-

гическим процессом: навыком прогнозирования последствий нарушения нормального хода процесса (методика «Что произойдет, если...») и навыком определения возможных причин нарушения (методика «Генерация возможных причин отклонения от нормы»).

Обе методики основываются на базе знаний (БЗ), формируемой путем обобщения известных типовых нарушений хода процесса, анализа таких нарушений на реальных технологических установках, моделирования этих ситуаций на компьютерном тренажере и привлечения экспертных оценок специалистов. БЗ представляет собой легко пополняемый перечень типовых нарушений процесса («причин») с порождаемыми ими последствиями («симптомами»).

### АСО «АФОН»

Система АФОН автоматизирует тренировку и тестирование по обоим навыкам. В зависимости от типа навыка обучаемому предъявляется выбранная случайным образом причина (или симптоматика) и он должен оценить изменение параметров, или, наоборот, должен выбрать причины, порождающие предъявленные симптомы.

Ответы обучаемого оцениваются, а на стадии тренировки приводится правильный ответ. Предусмотрена настройка параметров тестирования и детальное протоколирование экзаменов.

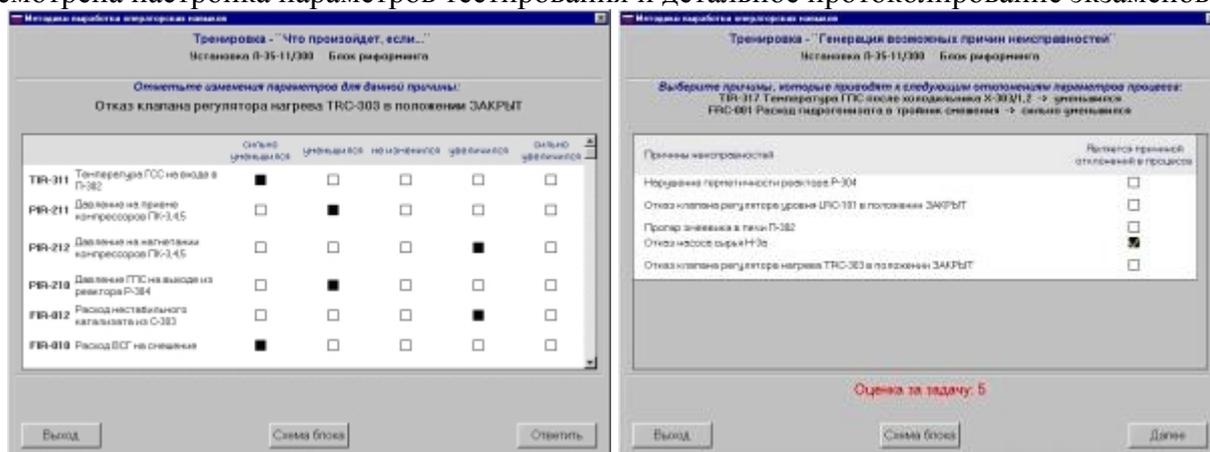


Рисунок 17. АСО «АФОН». Методика «Что произойдет, если?» и методика «Генерация возможных причин неисправностей»

### АСО «ДИАГНОСТ»

Автоматизированная система обучения ДИАГНОСТ предназначена для выработки у оператора умения эффективно и надежно определять причины неисправностей по характеру изменений параметров технологического процесса. Обучение реализуется в форме «игры» с оператором, в ходе которой ДИАГНОСТ «загадывает» одну из причин и делает «первоначальный вброс» – т.е. сообщает оператору об изменении одного из параметров процесса вследствие наступления загаданной причины. Задача оператора – найти загаданную причину путем запросов изменений остальных параметров из предлагаемого списка, причем сделать это необходимо за минимальное количество шагов.

Пользователь легко пополняет общий список причин новыми, вводя таким образом в базу знаний (БЗ) и в предметную область обучения новые содержательные ситуации нарушения хода технологического процесса. Также легко формируются отдельные игры, т.е. совокупности возможных причин и связанных с ними симптомов, предъявляемых оператору.

Для лучшего понимания задачи обучаемому представляются подсказки в виде технологических схем, описаний процесса, а также оценок сделанного информационного запроса. Предусмотрены режимы тренировки и тестирования, оценивание умения диагностировать причины неисправностей (с настройкой параметров тестирования), протоколирование экзаменов.

Использование системы ДИАГНОСТ наиболее эффективно после тренинга обучаемых с помощью автоматизированных методик формирования базовых навыков АФОН АСО АФОН. При этом «ДИАГНОСТ» позволяет не только развивать и укреплять умение диагностировать, но и совершенствовать это умение за счет мотивирования обучаемого на применение наиболее эффективных способов решения задачи диагностики.

Применение АСО АФОН и ДИАГНОСТ совместно с компьютерным тренажером КТК-М позволяет создать уникальное комплексное решения для обучения и тренинга операторов и фор-

мальной оценки их знаний и навыков. КТК-М: Многофункциональные компьютерные тренажеры. При конфигурировании АСО ДИАГНОСТ тренажерные модели используются в качестве источника информации для наполнения БЗ о причинно-следственных связях в ТП.

### АСО «ПЛАС+»

Программный комплекс «ПЛАС+» представляет собой открытую, расширяемую пользователем автоматизированную систему обучения. В нее входят:

- Электронный учебник PlasView. Он содержит принципиальную технологическую схему и план-схему размещения оборудования (рисунок 18), а также компьютерную версию блок-карт технологических блоков, включающую в себя:
  - структурированную согласно нормативным требованиям Оперативную часть ПЛАС (рисунок 19);
  - справочную информацию, необходимую оператору для действий в аварийных ситуациях;
  - краткую характеристику опасности технологических блоков

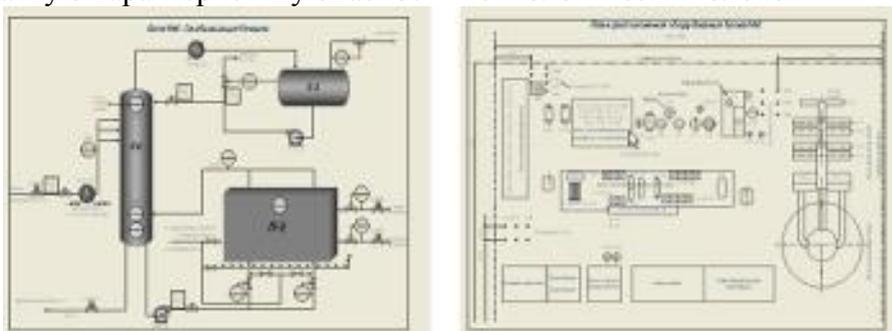


Рисунок 18. АСО «ПЛАС+». Принципиальная технологическая схема и план-схема размещения оборудования

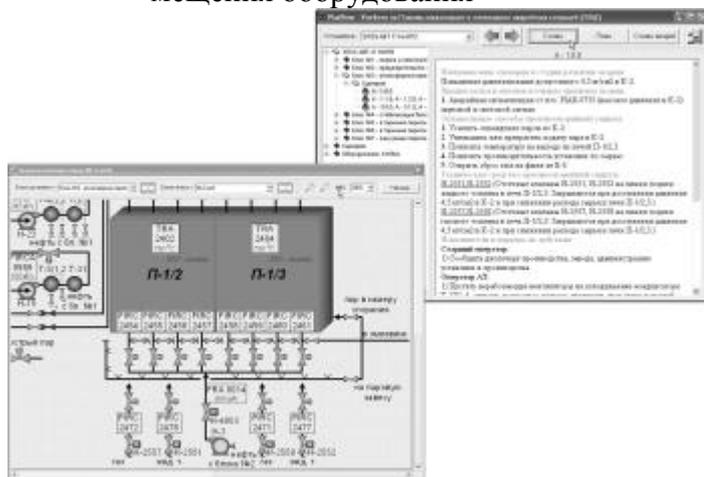


Рисунок 19. АСО «ПЛАС+». Электронный учебник. Оперативная часть ПЛАС

- Модуль проверки знаний PlasTest. В режиме тренировки этот компонент системы позволяет обучаемому практиковаться в выборе правильных элементов Оперативной части ПЛАС (предпосылок и опознавательных признаков аварий, оптимальных способов противоаварийной защиты, технических средств противоаварийной защиты, исполнителей и порядка их действий) для различных аварийных ситуаций (рисунок 20). Режим экзамена используется для тестирования знаний и умений оператора по правильному определению вышеназванных элементов Оперативной части ПЛАС.
- Модуль настройки параметров тестирования PlasOption, позволяющий специалистам Служб промышленной безопасности и подготовки персонала корректировать систему оценки за экзамен.
- Модуль редактирования PlasEsdit, позволяющий легко и удобно обновлять все структурные элементы блок-карт, вплоть до создания ПЛАС'ов «с нуля» (рисунок 21).

АСО ПЛАС+ является неременной частью любого крупного тренажерного проекта, но может использоваться и автономно как инструмент подготовки операторов по ПЛАС.

Практика применений АСО ПЛАС+ подтвердила, что ее применение совместно с компьютерным тренажером КТК-М позволяет создать комплексные решения для обучения и тренинга операторов и формальной оценки их знаний и навыков.

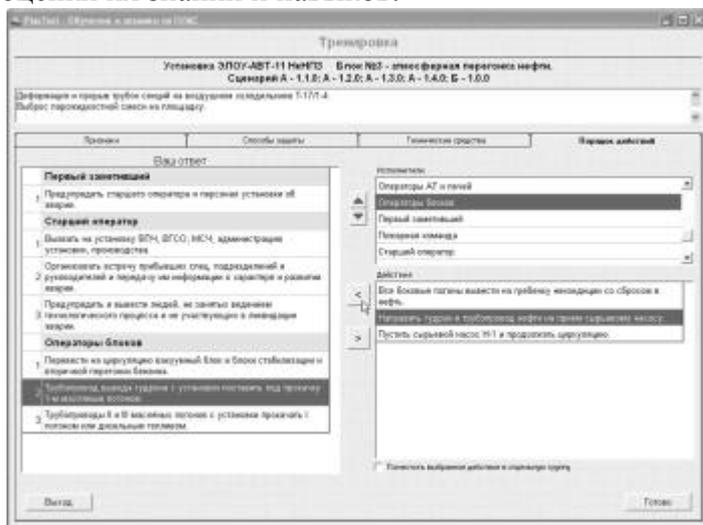


Рисунок 20. АСО «ПЛАС+». Проверка знаний по ПЛАС

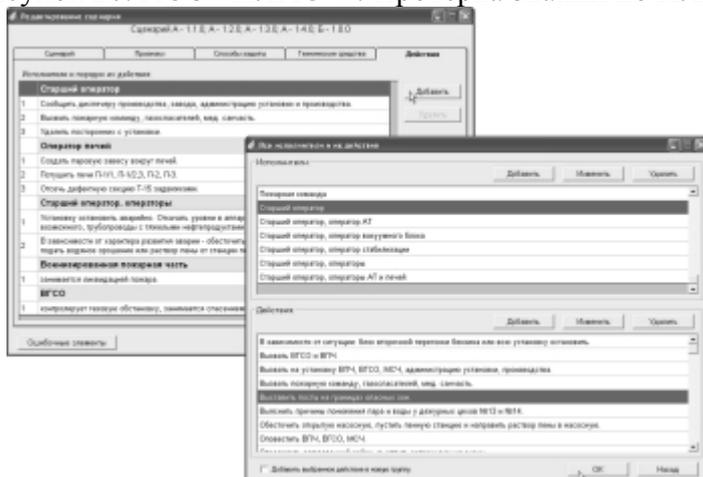


Рисунок 21. АСО «ПЛАС+». Кадры редактирования Оперативной части ПЛАС АСО «ТРЕНАРИЗ»

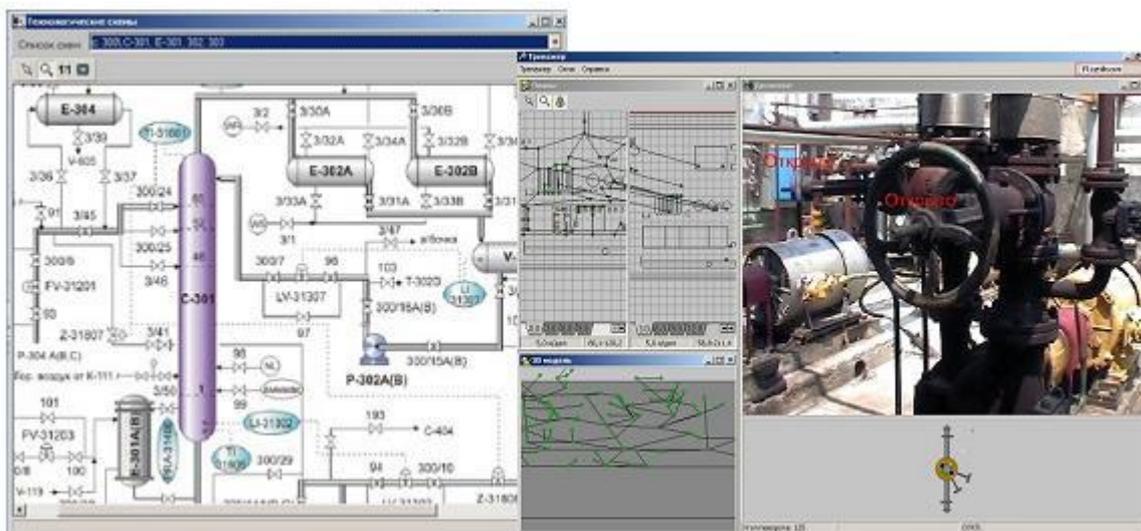
Компьютерные тренажеры, разрабатываемые НЦИР «РИЗИКОН», предназначены для подготовки оперативного персонала:

- к пуску технологического процесса;
- к работе в предусмотренных регламентом режимах;
- к плановой и аварийной остановке процесса;
- к управлению процессом в предаварийных и аварийных режимах;
- к выполнению действий по локализации аварий.

Компьютерный тренажер представляет программно-аппаратный комплекс, который создается для конкретного технологического объекта на основе анализа опасности. Результаты анализа используются разработчиком для создания баз знаний и конструирования тренажерного комплекса при помощи специального программного средства «Дизайнер».

Компьютерный тренажер создается для каждого технологического объекта и позволяет организовать обучение и тренировку персонала технологической установки в две стадии:

- обучение и тренировка логике действий по локализации и ликвидации аварий по технологическим схемам (рисунок 22а);
- обучение, выработка моторных навыков действий операторов и их взаимодействия в случае аварии в реальном пространстве эксплуатируемого объекта, которое имитируется компьютером (рисунок 22б).



а)

б)

Рисунок 22. Тренажер по технологическим схемам (а) и в имитированном пространстве установки (б)

Каждая стадия имеет следующие режимы обучения и тренировки (рисунок 23):

- индивидуальное изучение действий для заданной аварийной ситуации в режиме учебного фильма (режим «демонстрация») с голосовым комментарием;
- индивидуальное изучение действий для заданной аварийной ситуации в режиме «обучение с подсказкой»;
- индивидуальное изучение действий для заданной аварийной ситуации в режиме «обучение без подсказки»;
- коллективная тренировка (зачет).

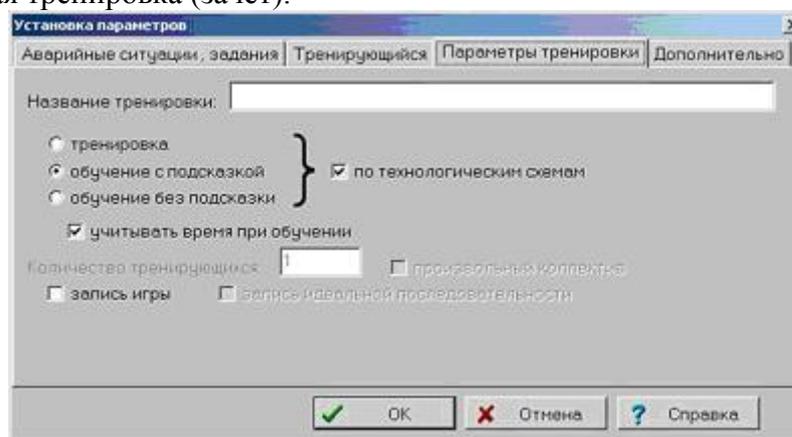


Рисунок 23. Выбор режима обучения и тренировки

После изучения установки, стадии, узла по описаниям и технологическим схемам оператор перед тренировкой имеет возможность при помощи функции «Демонстрация» изучить действия в режиме учебного фильма. В окне «Демонстрация» отмечается заданная инструктором или выбранная обучаемым самостоятельно аварийная ситуация.

При запуске программа демонстрирует «идеальную последовательность действий», которая создается и записывается разработчиками тренажера и может редактироваться инструктором (в рамках созданных при конструировании тренажера баз знаний о сценариях возникновения и развития аварий и аварийных ситуаций и действиях персонала).

Проигрывание идеальной последовательности происходит без вмешательства обучаемого. В зависимости от задания демонстрация может проводиться как по технологическим схемам, так и по имитированному в компьютере видеопространству.

Практически происходит просмотр «фильма», спроектированного на основе баз знаний тренажера. На технологических схемах и в имитированном пространстве выделены те элементы управления и отображения, которые используются при ликвидации аварии. Текущие объекты

воздействия обозначаются миганием и расцветкой. Под ними появляется меню с набором действий, из которых отмечено правильное действие. Фильм сопровождается звуковыми комментариями разработчика. Диктор дает информацию об опознавательных признаках выбранной аварийной или технологической ситуации, излагает последовательность действий, поясняя причину, почему необходимо и правильно выполнить именно эту операцию или действие. Обучаемый оператор может остановить «проигрывание», вернуться к предыдущему кадру, продолжить просмотр, т.е. управлять демонстрацией как видеомagneтофоном.

Индивидуальное обучение может проводиться как по должностям с учетом зоны обслуживания, так и в режиме анонимной тренировки с выполнением одним оператором последовательно всех действий для решения стоящей задачи.

Коллективная тренировка может проводиться как заранее определенным коллективом операторов с выполнением каждым членом «команды» закрепленных за ним в соответствии с его должностью и зоной обслуживания действий, так и в режиме «свободный коллектив», когда недоукомплектованная команда должна выполнить все необходимые действия.

Если выполняется коллективная тренировка, то один из операторов на своем компьютере задает при помощи пункта меню «Новая игра» начало тренировки по аварийной ситуации, заданной ранее в окне «Установка параметров». Этот компьютер становится сервером, появляется окно «Подключены». В окне указаны фамилии подключившихся к данной тренировке операторов, их должности и наименование схемы узла, по которому они начинают действия или точка начального размещения в видеопространстве. Остальные операторы для того, чтобы принять участие в коллективной тренировке, должны активизировать в меню пункт «Присоединение к игре». По мере подключения к тренировке их фамилии будут появляться в окне сервера. Как только оператор на сервере убедится, что все участники в тренировке подключены, он активизирует пункт меню «Старт игры». После этого начинается тренировка в установленном режиме. В тех случаях, когда кто-либо из обучаемых операторов отсутствует (не подключился к игре), после активизации пункта меню «Старт игры» и начала тренировки компьютер выполняет действия отсутствующих операторов, а участвующие в тренировке выполняют только свои собственные действия в соответствии со своими обязанностями. Можно выбрать режим «свободный коллектив». В этом случае присутствующие операторы должны выполнить все необходимые в возникшей ситуации действия, в том числе и отсутствующих операторов.

Если на каком-то этапе необходимо прервать обучение или тренировку по заданной аварийной ситуации, то это делается при помощи пункта меню «Стоп игры». При помощи пункта меню «Пауза» можно приостановить игру на некоторое время и потом продолжить ее.

Выполнение действий во время обучения или тренировки в имитированном компьютерном пространстве операторы могут производить по месту (см. рисунок 22б), со щита управления (рисунок 23а), или на мониторе компьютера (рисунок 24б).

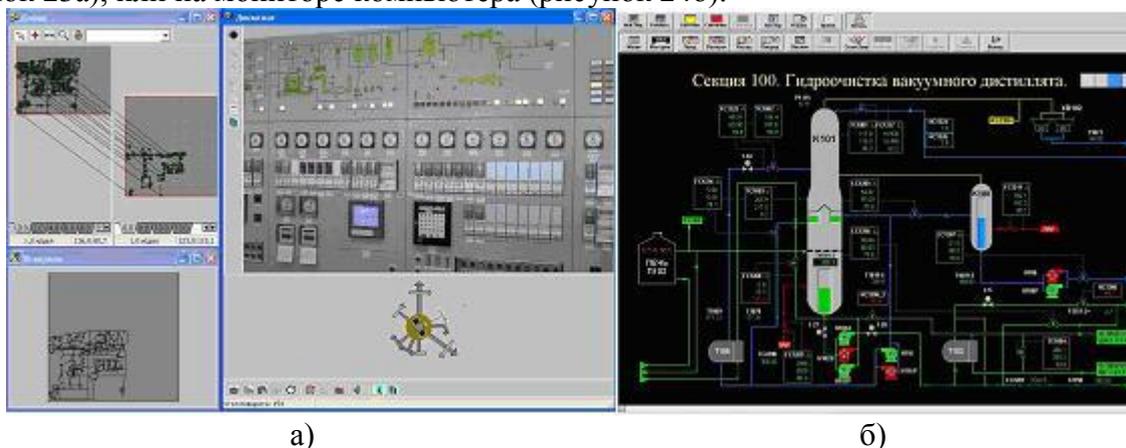


Рисунок 24. Управление со щита (а) и с монитора компьютера (б)

Если действие не связано с воздействием на объекты (оповещение, приказ, передача голосовой информации в процессе ликвидации аварии), оно осуществляется с использованием доски приказов (рисунок 25).

Имеющаяся в окне «Установка параметров» страничка аварийных ситуаций позволяет выбрать из базы данных аварийную ситуацию, для которой оператору или коллективу операторов необходимо пройти обучение или тренировку (рисунок 26). В этом случае после включения пункта меню «Новая игра» обучаемый или коллектив обучаемых могут пройти тренировку по выбранной аварийной ситуации.

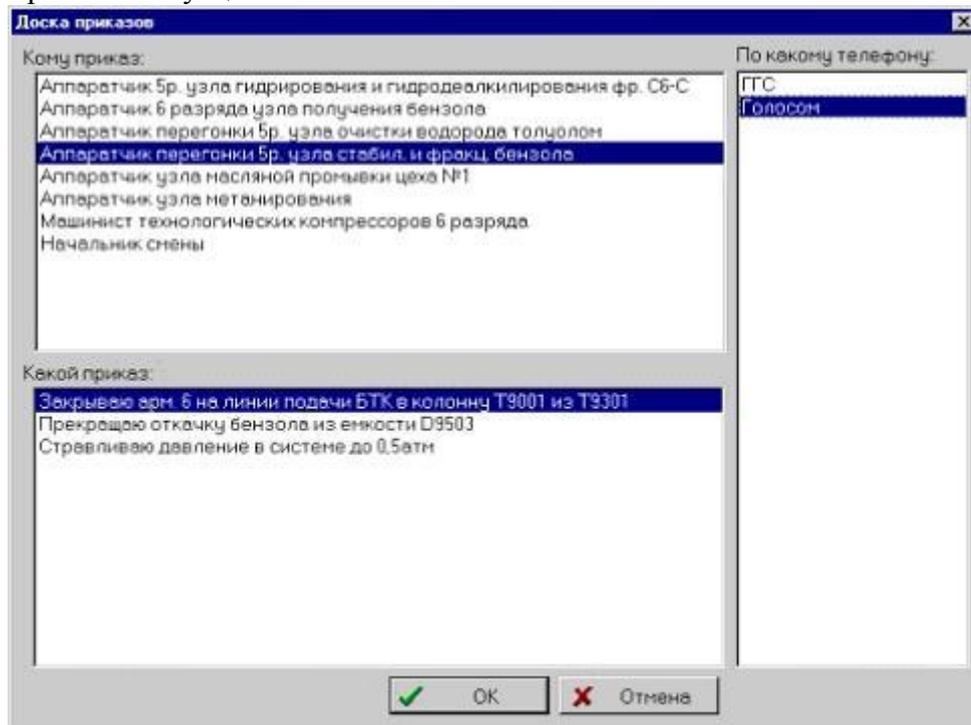


Рисунок 25. Доска «приказов»

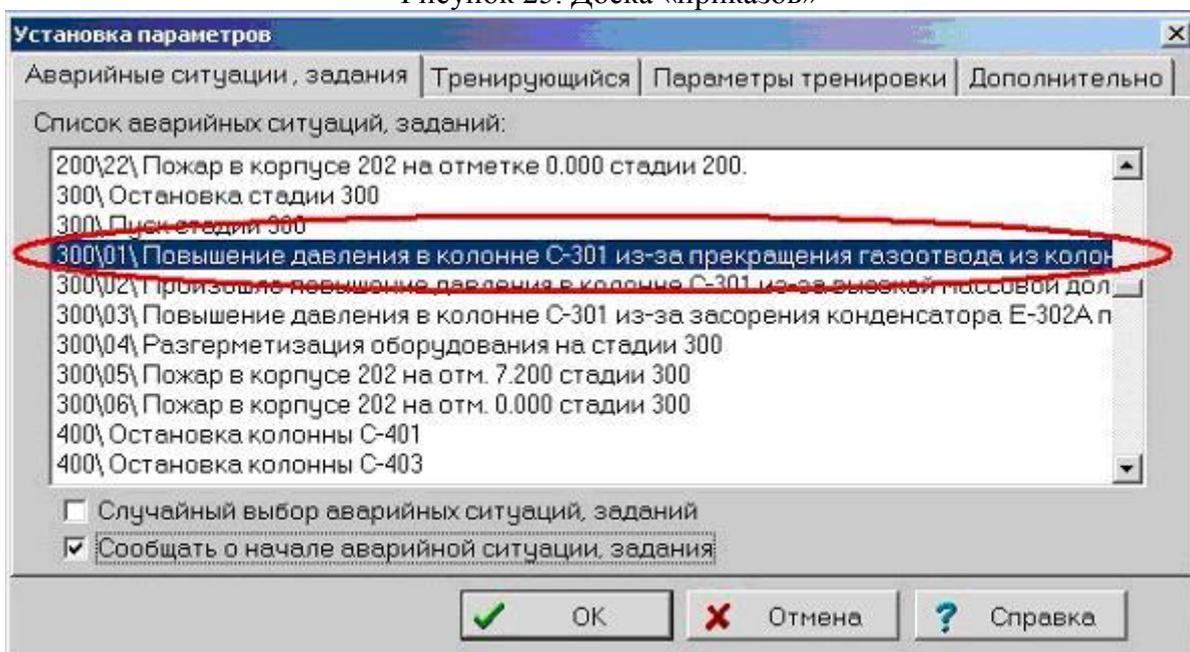


Рисунок 26. Выбор технологической или аварийной ситуации для обучения или тренировки

Если инструктор или обучаемый включают флажок «Случайный выбор аварийной ситуации» и выключают флажок «Сообщать о начале аварийной ситуации» (рисунок 26), то во время тренировки в имитированном компьютерном пространстве операторы должны самостоятельно по визуальным и звуковым признакам (показания приборов, наблюдение выбросов или загораний, сигнализация, хлопки, стуки) определить возникшую ситуацию и принять решение о соответствующих возникшей ситуации действиях. Это позволяет имитировать элемент неожиданности и вырабатывать навыки принятия решений в экстремальных условиях.

Закладка «Тренирующийся» позволяет устанавливать фамилии и должности тренирую-

щихся операторов и их расположение на установке в момент аварии. Инструктор на своем компьютере может выбрать флажок «Режим наблюдателя» (рисунок 27). В этом случае он во время тренировки может перемещаться в компьютерном пространстве и наблюдать действия того или иного из участников тренировки и при желании поправлять их.

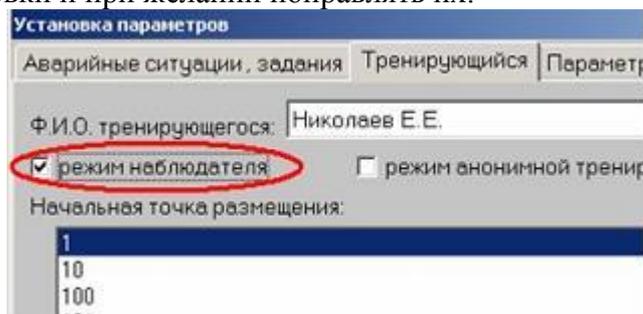


Рисунок 27. Выбор инструктором режима наблюдения

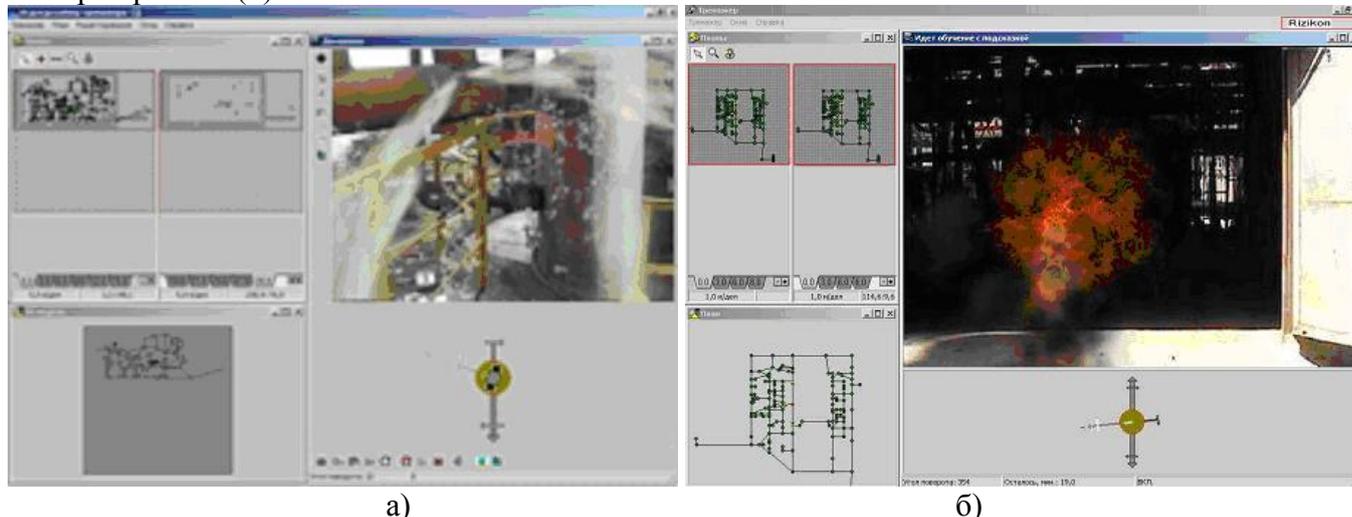
Обучаемый может установить флажок «Режим анонимной тренировки» (рисунок 27). В этом случае он может изучать и выполнять не только собственные действия, определяемые должностью и своими задачами во время аварии, а изучать и выполнять все действия, необходимые в заданной или случайно возникшей аварийной ситуации.

В тех случаях, когда тренажер создается для сложных технологических систем, в состав которых входит несколько технологических блоков, отделений или установок, в строке «Наименование объекта тренировки» инструктор указывает наименование того технологического блока или другого элемента технологической системы, для которого в соответствии с программой обучения будет проводиться тренировка. В зависимости от режима и уровня подготовки обучаемого инструктор может задать или отменить ограничение времени на выполнение действий при обучении и тренировке. Для необученного или мало подготовленного оператора время может быть отключено. Оно может быть также отключено при коллективной тренировке на ранних стадиях обучения, когда взаимодействие между операторами еще не достигнуто. После определенного уровня подготовки инструктор может включить флажок «Учитывать время при обучении».

Перемещаясь по видеопространству установки, оператор может:

- определять текущие значения параметров процесса по элементам отображения (показания приборов установленных по месту, на щите управления или на мониторе компьютера, положение рубильников или рычагов, световая сигнализация и т.п.);
- воспринимать визуально изменения в системе (истечение струи жидкости или газа, наличие проливов, пожары и загорания и т.п.);
- воспринимать звуковые опознавательные признаки (звуковая сигнализация, сирена, звук истекающей струи, характерные стуки или отклонения в работе машин и механизмов, гул пожара, хлопки, взрывы и т.п.).

На рисунке 28 приведен пример визуального наблюдения выброса при порыве трубы (а) и пожара пролива (б).



а)

б)

Рисунок 28. Имитация истечения струи горячей жидкости (а) и пожара пролива (б) для опреде-

ления возникшей аварийной ситуации по опознавательным признакам

Если во время ликвидации аварии допускается ошибка или время выполнения действий превышает допустимое, авария будет переходить на другую стадию по сценарию ее развития. В этом случае обучаемый оператор или коллектив операторов должен выявить вновь сложившуюся аварийную ситуацию по опознавательным признакам визуально и/или по характерным звукам, принять решения по ее ликвидации и приступить к их реализации.

В случае тренировки может быть задан режим «запись игры». Это позволяет по результату тренировки произвести анализ допущенных ошибочных действий. На основании этой записи инструктор может разобрать вместе с операторами, какие и когда ошибочные действия были допущены, а в случаях коллективной тренировки определить, кем они были допущены.

Для учета проведенных учебных занятий и тренировок ведется специальный журнал (рисунок 29). В этом журнале инструктор ведет регистрацию оперативного персонала установки, который должен пройти обучение. Записывается фамилия имя отчество и должность. Проведенные тренировки и их результаты для данной должности и конкретного исполнителя фиксируются компьютером в журнале. В нижнем списке окна для выбранной в верхнем списке должности можно определить, по каким аварийным ситуациям проведены обучение и тренировки. При проведении тренировки ее результаты заносятся в журнал автоматически.

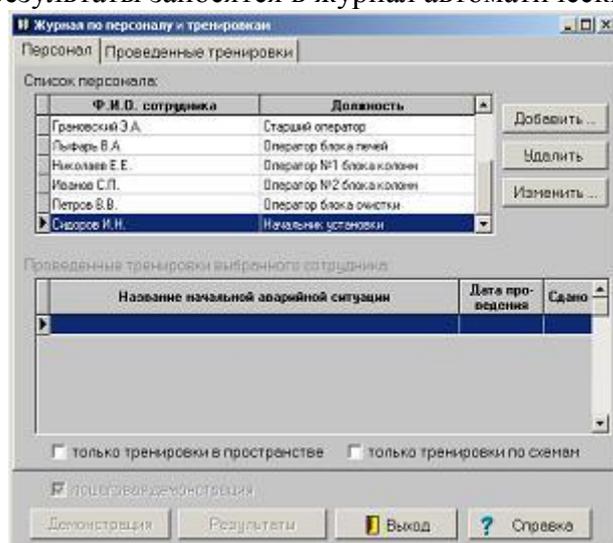


Рисунок 29. Журнал обучения и тренировок

По завершению обучения или тренировки их результаты фиксируются (рисунок 30). Указывается наименование возникшей аварийной ситуации, ликвидирована она или не ликвидирована, фамилии участников, количество выполненных ими действий, из них количество правильных действий и процент ошибок. Фиксируется время, затраченное оператором или операторами на ликвидацию аварийной ситуации. Результаты запоминаются и заносятся в журнал.

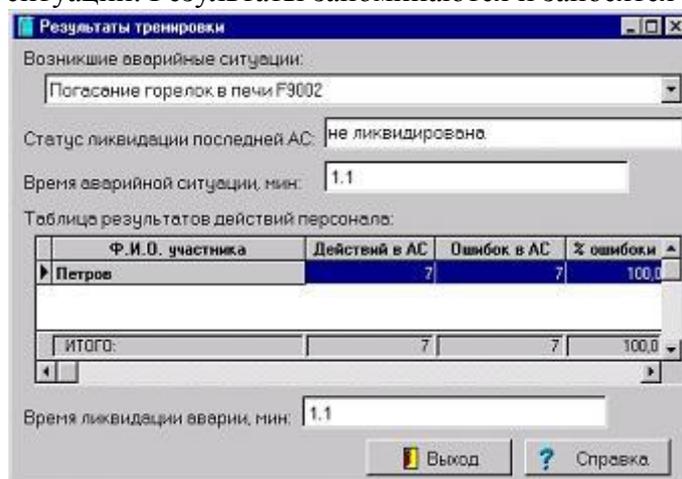


Рисунок 30. Фиксирование результатов тренировки

Таким образом, компьютерные тренажерные комплексы нашли широкое применение в

нефтегазовой отрасли для решения задач обучения персонала, повышения степени их подготовленности с целью минимизации экономического и экологического ущерба при авариях, а также в рамках планового повышения квалификации.