

## КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНИНГ ОПЕРАТОРОВ: НЕПРЕХОДЯЩАЯ АКТУАЛЬНОСТЬ, НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ, ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР

В.М. Дозорцев, Д.В. Агафонов, В.А. Назин, А.Ю. Новичков, А.И. Фролов (ЗАО «Хоневелл»)

Компьютерные тренажеры для обучения операторов – мощное средство снижения аварийности и повышения эффективности управления ТП. Рассматривается структура современных тренажеров, описываются ключевые характеристики их компонентов, анализируется состав и содержание тренажерного проекта, требования к его участникам со стороны заказчика и исполнителя. Особый акцент делается на использовании КТ для решения смежных задач промышленной автоматизации. Приводятся примеры крупных тренажерных проектов ЗАО «Хоневелл» и прогнозы на ближайшую зону развития КТ.

**Ключевые слова:** компьютерный тренинг операторов, моделирование ТП, человеческий фактор, операторские интерфейсы, методики тренинга, предтренажерная подготовка, тренажерный проект, АРС, виртуализация, облачные технологии, капитализация знаний.

### Введение

Компьютерные тренажеры для обучения операторов (КТ) были и остаются одним из самых востребованных направлений промышленной автоматизации. Тренажерных систем в промышленности становится все больше, а потребность в них продолжает расти. Ежегодный объем мирового рынка КТ (за вычетом смежных систем, также базирующихся на моделировании ТП) можно оценить в 500...600 млн. долл. США. При средней стоимости тренажера на западном рынке в 800 тыс. долл. это означает введение примерно 700 тренажерных систем ежегодно для непрерывных процессов химико-технологического типа (нефтепереработки, нефтехимии, химии, фармакологии, пищевой и целлюлозно-бумажной промышленности и др.).

Основной фактор, определяющий такой интерес производителей — промышленная безопасность, состояние которой оставляет желать лучшего. Согласно исследованиям середины 90-х годов XX века [1], на каждую тонну перерабатываемой нефти приходится в среднем 0,505 долл. США потерь из-за ошибок оператора. Современный анализ на базе 40-летней статистики аварийности в нефтепереработке дает поразительно близкий результат — 0,52 долл. США на тонну по ценам 2013 г.<sup>1</sup> Даже принимая в расчет изменение стоимости доллара, следует констатировать следующее:

- потери из-за ошибок оператора огромны; помимо потерь от аварий эти ошибки приводят к снижению качества продукции, незапланированным простоям оборудования, экологическому ущербу и др. потерям, сравнимым по масштабу с потерями от аварий;

- стоимость тренажерных систем в сравнении только с аварийными потерями окупается при снижении числа аварий и аварийных инцидентов на 6...9% [1]. В современных экономических условиях, когда стоимость российских тренажеров в долларах значительно снижается, окупаемость тренажеров существенно ускоряется. Таким образом, КТ в экономическом плане — чрезвычайно выгодный инструмент снижения аварийности;

— тренажерный рынок далек от насыщения. С помощью тренажеров пока удается только удерживать фронт — при резком увеличении сложности технологии и систем управления потери на тонну перерабатываемой нефти не растут (и даже несколько снижаются с пересчетом на инфляцию).

В России и странах СНГ наблюдается устойчивый тренажерный бум, объясняющийся помимо соображений промышленной безопасности дополнительными факторами. Среди них — сравнительно низкая оснащенность тренажерами, амбициозные программы технологической модернизации крупнейших нефтяных компаний, демографические проблемы, разрушение системы профессиональной подготовки операторов.

В этом контексте цель статьи — показать современное состояние тренажеростроения, выделить сильные моменты и дефициты существующих систем, обсудить проблемы создания, внедрения и эксплуатации КТ, спрогнозировать развитие систем в обозримом будущем, чтобы вооружить потенциальных пользователей тренажеров четким пониманием состояния и перспективы развития КТ.

### Почему компьютерные тренажеры снижают аварийность

Способность КТ снижать аварийность в производстве — общепризнанный факт. Важно понимать, за счет чего тренажеры могут выполнить эту задачу, и почему на современном этапе развития промышленной автоматизации в этом направлении им нет альтернативы.

#### Особенности операторской деятельности

Современная инженерная психология отмечает следующие принципиальные особенности операторской деятельности для рассматриваемого круга ТП [1]:

- многостадийный процесс работы в нештатных ситуациях, включающий обнаружение отклонений от нормального режима, диагностирование причин этих отклонений, планирование и реализацию компенсирующих действий. Цикл повторяется по мере появления новой информации о развитии ситуации;

<sup>1</sup> Средний ущерб от одной аварии из списка 100 крупнейших за период 1973-2013 гг. составляет 130 млн. долл. США в ценах 2013 г. (<https://uk.marsh.com>).

— разнообразие по задействованным психическим механизмам и необходимым навыкам — от восприятия, внимания и памяти до когнитивных (мыслительных) процессов принятия решений. Реализация такой деятельности требует от оператора очень высокого уровня подготовки;

— сложность из-за значительного элемента рутинности и необходимости постоянно поддерживать высокий уровень «боеготовности»<sup>2</sup>;

— высокий уровень ответственности за последствия возможных неудачных действий.

Добавим к этому главное — постоянное усложнение самих процессов и систем управления ими. В статье [2] британский инженерный психолог Лисан Бэйнбридж сформулировала «парадокс автоматизации», согласно которому развитие автоматизации приводит вовсе не к упрощению, а к усложнению деятельности оператора. Действительно, высвобождая его от рутинной «низовой» работы, современная автоматика требует от оператора решения все более сложных задач по эффективному управлению процессом и поддержанию его безопасности во все более сложных нештатных ситуациях. В этом смысле парадокс Бэйнбридж можно расширить: усложнение процессов и систем управления делает их более уязвимыми с точки зрения безопасности; для преодоления этого требуются еще более сложные и совершенные системы управления, что в свою очередь чревато новыми рисками. Разорвать порочный круг можно, только уцепившись за верное «звено» человеко-машинной цепочки, каким и представляется качественное улучшение подготовки операторов.

Как всякий тренажер, рассматриваемый инструмент тренинга состоит из трех ключевых элементов: модели-заменителя объекта (модели ТП), информационной модели (модели среды операторского управления) и модели обучения (в КТ это методики тренинга, реализованные средствами автоматизированного компьютерного инструктирования). Рассмотрим эти элементы подробнее.

#### **Точные модели процессов**

Модели ТП в КТ должны отвечать следующим требованиям:

— это фундаментальные модели, точно воспроизводящие физико-химические процессы, протекающие в объекте (процессы тепло- и массопереноса, гидравлики, химической кинетики и пр.);

— это полномасштабные и связанные модели, охватывающие моделируемый объект во всей полноте технологической схемы и ее связей. Обучаемый оператор, воздействуя на ТП, должен видеть реакцию на свои действия, в какой бы части процесса она ни возникала;

— частью модели ТП является модель системы базового управления, достаточно полно воспроизводящая работу реальной системы КИП и А;

— описываемые модели являются имитационными по принципу их использования в КТ, то есть они воспроизводят работу реального объекта в режиме on-line<sup>3</sup>, обеспечивая адекватную реакцию на разнообразные вмешательства участников тренинга (оператора, инструктора, системы управления).

Серьезные разработчики тренажеров используют для создания и реализации моделей патентованные системы моделирования ТП. Компания Honeywell исторически использовала разные платформы моделирования, отражавшие на каждом этапе тренажеростроения максимально доступную на тот момент функциональность. На сегодня глобальная платформа Honeywell — система моделирования UniSim<sup>®</sup> Design — наиболее распространена в мире (например, в нефтепереработке на ней выполнен каждый четвертый тренажер в мире). Система использует широкую библиотеку стандартных и уникальных технологических узлов и аппаратов, богатые базы физико-химических свойств веществ, мощные и устойчивые решатели систем дифференциальных и конечных уравнений, составляющих тренажерную модель<sup>4</sup> [3].

Историческим преимуществом приобретения корпорацией Honeywell СП «Петроком» (Россия) является наличие отечественной тренажерной платформы КТК-М, сочетающей относительную простоту разработки тренажера и высокое качество систем. ЗАО «Хоневелл» продолжает успешно использовать КТК-М в тренажерных проектах. Вопросы «нишевого» разграничения обоих продуктов обсуждаются в [1].

#### **100% воспроизведение операторской среды**

Ключевое место в управлении современным ТП принадлежит консольному оператору. С почти повсеместным внедрением РСУ в практику управления важными (потенциально-опасными и тренажероемкими) процессами проблема высокоточной имитации операторской среды в тренажере упростилась. В КТ последнего поколения от серьезных производителей используется то же ПО, что работает в реальных операторных. Это касается как ЧМИ различных РСУ или целиком SCADA-системы, так и различных эмуляторов микропроцессорных контроллеров РСУ. Так, в тренажерах разработки Honeywell используются ЧМИ основных поставщиков РСУ и SCADA-систем (прежде всего, системы Honeywell Experion PKS). Симуляторы контроллеров (например, Honeywell C300, Safety Manager и др.) в составе тренажеров позволяют имитировать их работу с точностью, близкой к 100%.

<sup>2</sup> По меткому определению современной исследовательницы, каждый час работы оператора состоит из 55 мин. ничегонеделания, сменяемого 5 мин. настоящего ада.

<sup>3</sup> Не следует смешивать on-line режим работы имитационной тренажерной модели с ее работой в жестком реальном времени. Обязательным требованием к КТ является возможность ускорять и замедлять работу ТП для экономии времени обучения в медленно текущих ситуациях или для замедления его работы для первоначального тренинга действий в стремительно развивающихся ситуациях.

<sup>4</sup> Размерность такой системы уравнений для среднего ТП — многие десятки (а зачастую сотни) входов (управляющих воздействий) и тысячи выходных переменных (наблюдаемых и внутренних).

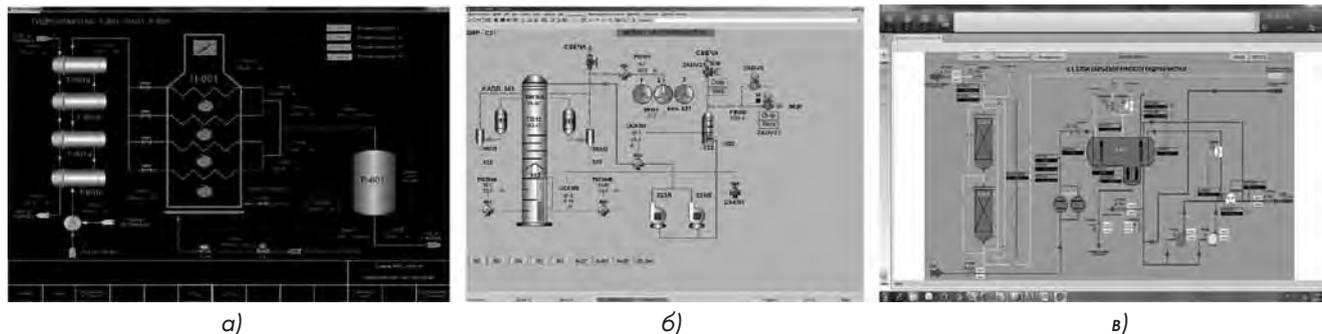


Рис. 1. Примеры интерфейса консольного оператора: а) типовой интерфейс, б) точный интерфейс PCSU Honeywell Experion PKS, в) эмулированный интерфейс стороннего производителя.

Они также дают возможность выгрузить из реальной PCSU конфигурацию контроллеров, протестировать и настроить ее на высокоточной динамической модели процесса и загрузить обратно в PCSU.

В реальном КТ возможность использовать все эти технические достижения ограничивается имеющимся бюджетом. С учетом стоимости необходимого ПО (в том числе ПО PCSU) может быть принято решение о частичной имитации PCSU средствами тренажерной платформы. Конечно, необходимо соблюдать компромисс между удешевлением проекта и точностью воспроизведения операторской среды. Примеры различных решений показаны на рис. 1.

#### Интерфейс полевого оператора

Возможно уступая консольному оператору по влиянию на процесс и уровню ответственности, полевой оператор все же выполняет свою очень важную роль. Совмещение его среды «по месту» с единым операторским интерфейсом (как это бывало на заре КТ и как, к сожалению, сохраняется в продуктах низко бюджетных производителей) чревато серьезным риском «ложного» навыка<sup>5</sup>. У полевого оператора должно быть специальное АРМ, на котором ему должна быть доступна только его (неконсольная) информация. При этом на консоли не должно быть «полевой» информации, чтобы консольный оператор понимал, что исполнение операций «по месту» реализуется другим обучаемым и занимает определенное время.

До недавнего времени интерфейс полевого оператора исполнялся в традиционных технологических экранах по примеру экранов PCSU. Это совсем не похоже на реальное «поле», содержащее здания, оборудование, другую инфраструктуру. В таком подходе полевому оператору в тренинге отводится роль статиста, подающего закадровые реплики «звезде» (консольному оператору). Понятно в этом контексте желание пользователя усилить полевую составляющую КТ. В последние годы производители КТ пытаются эмулировать среду управления полевого оператора средствами виртуальной реальности. Но без соответствующей методики обучения эти попытки малоэффективны, учитывая их значительную стоимость (иногда сопоставимую со стоимостью КТ).

Альтернативный подход, реализуемый ЗАО «Хоневелл» и уже включенный в актуальные релизы глобального тренажерного решения, базируется на технологии панорамных снимков. Панорамы соединены в единое поле посредством конфигурируемых джамперов (переходов) и интегрированы с тренажерной моделью в активных точках (приборы и органы управления «по месту»). Навигация в поле повторяет реальные пути, которыми пользуется оператор: более удаленные объекты требуют большего времени достижения. Наряду с «родной» инфраструктурой это резко повышает уровень подобию деятельности полевого оператора в КТ в сравнении с его реальной работой. Панорамный интерфейс позволяет при этом

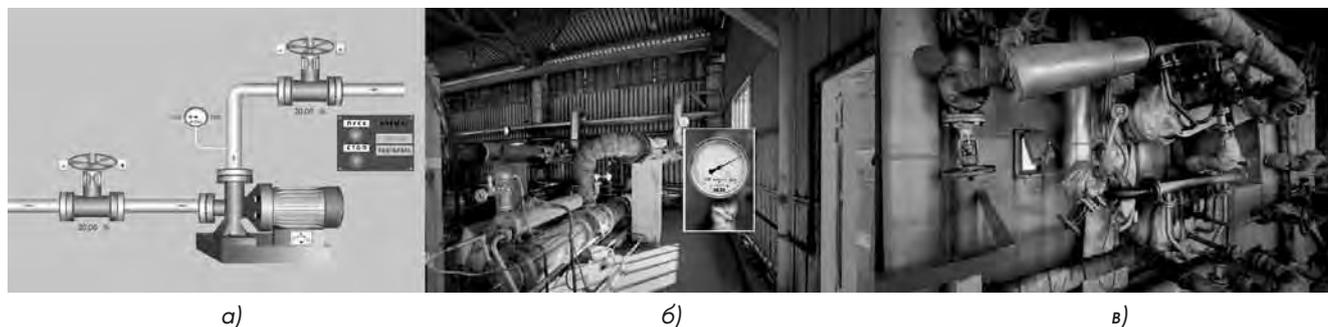


Рис. 2. Примеры интерфейса полевого оператора: а) стандартный, б) панорамный интерфейс (насос), в) панорамный интерфейс (печь)

<sup>5</sup> Компьютерный тренинг направлен на выработку навыка, то есть автоматизированного действия. Неточности в воспроизведении реальных условий приведут к неправильному (ложному) навыку, что не только не принесет пользы от тренажера, но в определенных условиях может и навредить.



и ликвидации аварийных ситуаций. Центральный компонент ПЛАС — его оперативная часть, содержащая сценарии аварийных ситуаций с описанием их предпосылок и опознавательных признаков, способов и средств противоаварийной защиты (ПАЗ) и требуемых действий персонала.

Тренировать действия по ПЛАС консольных и полевых операторов можно непосредственно на тренажере (особенно с привлечением панорамного интерфейса полевого оператора). Но это не снимает необходимости предтренажерной подготовки по ПЛАС, реализуемой в АСО «ПЛАС+» разработки ЗАО «Хоневелл» [4].

#### **Критерии качества КТ**

Все перечисленные компоненты КТ должны быть выполнены на высоком уровне, чтобы решать свои задачи.

С инженерно-психологических позиций тренажер — средство, направленное на выработку операторских навыков (подчас чрезвычайно сложных), и критерием его качества не может быть уровень исполнения его отдельных компонентов, пусть даже всех без исключения. В работе [1] обоснован принцип подобия деятельности оператора в тренинге его реальной деятельности, соблюдение которого и должно рассматриваться как критерий качества КТ. Этот принцип применим и к отдельным компонентам тренажера и к системе в целом.

Другой не вполне осознанный факт тренажеростроения заключается в том, что КТ — лишь инструмент передачи опыта от инструктора к оператору. При этом тренажер — наиболее мощное средство обучения, позволяющее осуществлять передачу опыта не в декларативной форме (рассказ, лекция, пр.), а в процедуральном контексте<sup>6</sup>, когда инструктор может ставить перед обучаемым задачи в форме точно воспроизведенных производственных условий (с верными реакциями объекта, достоверной технологической информацией в аутентичной форме, объеме и динамике). В этом смысле альтернативой компьютерному тренингу может быть только обучение на реальных установках, естественно невозможное по соображениям безопасности и дороговизны.

Добавим к этому, что экспертом, подтверждающим достоверность тренажера и возможность использовать его в обучении, также является человек (разработчикам всегда хотелось бы, чтобы это был тот же инструктор)<sup>7</sup>. В результате вряд ли можно найти более «человеческое» направление высокотехнологичной промышленной автоматизации, чем КТ.

#### **Тренажерный проект**

Разработка, внедрение и сопровождение КТ — это проект, и, как у всякого проекта, у него есть этапы,

расписание, участники. Назначение данного раздела — привлечь внимание потенциальных заказчиков КТ к составу и участникам тренажерного проекта.

#### **Тренажерный тендер**

Значительная часть успеха тренажерного проекта закладывается на тендере. Заказчик должен сформулировать четкие технические требования (ТТ), которые не следует путать с техническим заданием, описывающим обязательства победителя тендера и являющимся частью договора на разработку КТ.

Приводимые в ТТ характеристики тренажера должны формулироваться в виде либо обязательных требований (их невыполнение ведет к безусловному отклонению конкурсной заявки), либо рекомендательных требований (они могут подразделяться на весьма желательные, желательные и возможные), либо запросов, проясняющих отдельные характеристики КТ и условия выполнения работ и услуг.

Среди существенных требований к реализации проекта отметим требования к [7]:

- составу моделируемых ТП, реализуемых в них режимов и нестандартных ситуаций;
- точности моделирования отдельных статических и динамических режимов и нестандартных ситуаций;
- моделированию систем управления и воспроизведению операторских интерфейсов;
- (автоматической) оценке эффективности действий обучаемого оператора при работе на тренажере;
- технической и программной структуре КТ, возможностям ее модификации;
- установочной, эксплуатационной, методической, инструкторской документации;
- проектированию, установке, тестированию, опытной эксплуатации, приемным испытаниям тренажера и расписанию выполнения работ и услуг;
- эргономике КТ, обучению инструкторов компьютерного тренинга;
- гарантиям, гарантийному и пост-гарантийному обслуживанию и сопровождению КТ.

Важно подчеркнуть, что ТТ — не документ, по которому КТ будет приниматься в эксплуатацию, а документ, позволяющий участникам конкурса сформировать конкурсную заявку. ТТ должны определять функции КТ, но не навязывать участникам конкурса выбранную заказчиком техническую реализацию этих функций. Кроме того, ТТ не должны ориентировать конкурсантов на исполнение устаревших и необязательных ГОСТов.

#### **Детальная функциональная спецификация**

Результатом первого этапа работ должно являться исчерпывающее описание состава КТ: объем моделирования технологической схемы, КИПиА, способ и объем воспроизведения операторских интерфейсов, состав

<sup>6</sup> В упоминаниях пирамиды усвоения знаний, приписываемых то Конфуцию, то Гете, процедуральное обучение находится на вершине (мы усваиваем до 90% того, в чем участвуем), в противовес основанию пирамиды — мы усваиваем лишь 10% того, что слышим.

<sup>7</sup> Исключая, конечно, регламентные документы, другая (не экспертная) информация об объекте непригодна для настройки или верификации тренажеров. Это относится и к экспериментам на объекте (даже если к ним возможно будет прибегнуть), поскольку их результаты принципиально невозпроизводимы и, следовательно, непредставительны [6].

методического обеспечения (тренировочные упражнения, системы предтренажерной подготовки, пр.).

В методологии компании Honeywell этот документ называется детальной функциональной спецификацией (ДФС) тренажера. Конечно, ДФС — не абсолютная догма; на стадии разработки КТ могут появиться изменения, дополнения, исключения, но принципиальный объем и содержание работы определяются именно ДФС.

Следовательно, ДФС — основа разработки и приемки КТ. Именно ДФС, с учетом всех принятых сторонами изменений, является критерием качества тренажера и формальным основанием принять его в эксплуатацию.

#### **Разработка технического проекта**

Три основных структурных компонента тренажера по возможности разрабатываются параллельно и затем интегрируются в единую систему.

Разработка модели осуществляется командой «модельеров» и предполагает создание конфигурации (каркаса) модели и ее дальнейшую параметризацию с целью добиться желаемого поведения в статических и динамических режимах. Для среднего по объему КТ эта стадия занимает примерно 6 мес. и предполагает загрузку одного или нескольких модельеров при возможных консультациях со стороны высоко опытного специалиста по моделированию. Когда каркас модели создан, также важны регулярные консультации со стороны специалистов заказчика. Об организации такого взаимодействия речь пойдет далее.

Операторская среда в тренажере может воспроизводиться по-разному. В случае имитации РСУ воссоздание операторской среды — не столь острая проблема; разработчикам нужна только точная спецификация входящих в тренажерную модель сигналов и характеристики контроллеров. При использовании реальной SCADA или РСУ к разработке компонента системы управления в тренажере можно приступить только после получения проекта РСУ. Часто это становится основным вызовом разработки: тренажер для вновь строящейся установки нужен за несколько месяцев до пуска (чтоб успеть обучить операторов), но проект РСУ будет дорабатываться практически до последнего дня. Поэтому разработчикам КТ приходится начинать работать далеко не с последней версией проекта РСУ и вносить изменения в тренажер «налету».

Разработчики методической части КТ находятся в относительно лучших условиях, поскольку это достаточно автономный компонент. В то же время методическое наполнение КТ — тонкая и ответственная задача, требующая понимания технологии и принципов управления установкой.

В определенный момент (но не раньше изготовления и испытаний математической модели и готовности эмулированного интерфейса или реальной РСУ) осуществляется интеграция отдельных компонентов в единый тренажерный комплекс.

#### **Приемка модели**

Из-за особой сложности и ответственности, связанной с разработкой модели, в тренажеростроении предполагается дополнительный (в сравнении с другими системами автоматизации) тип испытаний — проверка тренажерной модели. Обычно она проводится на территории исполнителя с целью испытать полноту и достоверность модели. В приемке участвуют технологи заказчика и модельеры исполнителя. Возможно, это самый содержательный и научно наполненный этап взаимодействия участников проекта.

#### **Заводские испытания**

После проведения интеграции приступают к заводским испытаниям. Методика испытаний разрабатывается и утверждается заказчиком заранее. Серьезные производители КТ используют выверенную методику испытаний, представляющую совокупность тестов по всем компонентам тренажера, позволяющих с высокой степенью надежности убедиться в соответствии выполненного комплекса требованиям ДФС. Продолжительность этого этапа — не менее 2-х недель.

Остановимся подробнее на испытаниях модели (испытания остальных компонентов схожи с испытаниями других систем автоматизации). Проверка модели осуществляется в стандартных режимах (холодный старт, нормальные технологические условия) и разнообразных динамических (пуск/нормальный/аварийный останов, типовые нештатные/предаварийные/аварийные ситуации). Кроме того, предусмотрена проверка динамического отклика модели на изменения управляющих параметров — в сторону уменьшения/увеличения, в рабочем диапазоне (до 10% от номинала) и аварийных условиях (до нижней и верхней границы значения потока). Такая проверка предусмотрена методикой испытания для всех важных управляющих параметров и определенного числа остальных (порядка 10...20 потоков) по произвольному выбору принимающей стороны.

Заводские испытания завершаются приемкой системы по всем отдельным тестам с фиксацией по заранее утвержденной форме выявленных отклонений в работе тренажера. Отклонения классифицируются по тяжести: от незначительных, исправляемых по ходу испытаний, до серьезных, требующих времени на устранение или пересмотра ДФС (при необходимости доработки системы за рамками оговоренного объема моделирования).

#### **Испытания на площадке**

Итак, тренажер выполнен и принят в заводских условиях; его перевезли и установили у заказчика. Задача приемных испытаний на площадке — убедиться в работоспособности системы и устранении замечаний, выявленных на заводских испытаниях. Проверяется комплектность документации по тренажеру (в том числе наличие бумажных версий, если указано в ТЗ). По завершении этих испытаний тренажер готов к эксплуатации.

**Опытная эксплуатация**

Эксплуатация системы может начаться с опытного периода, если система сложна, у заказчика нет серьезного опыта использования подобных систем и это предусмотрено в договоре. Результаты этого этапа подробно документируются пользователем; замечания своевременно передаются исполнителю для оперативной отработки. По окончании опытной эксплуатации заказчик решает, можно ли передать систему в промышленную эксплуатацию.

**Гарантийное обслуживание**

Гарантийный период (обычно, годичный) — очень важный этап жизненного цикла КТ. Система настолько сложна, разнообразие режимов ее работы настолько велико, что в полном объеме проверить ее можно только в ходе интенсивной эксплуатации в первый год работы. Все исправления в системе (если будет зафиксировано отклонение от требований ДФС) исправляются разработчиком бесплатно.

**Пост-гарантийная поддержка**

Практика эксплуатации КТ свидетельствует, что первые 2...3 года работы проходят вполне успешно. Со временем нарастает вероятность «старения» тренажера. Старению подвержены все элементы КТ — накапливаются изменения в технологии, меняется конфигурация РСУ, беднеет методический запас тренинга. Конечно, можно ничего не предпринимать и дожидаться ситуации, когда отклонения станут серьезными и возрастет опасность «ложного» навыка. Необходимые изменения в «пожарном порядке» будут дороги.

Компания Honeywell разработала специальную программу поддержки КТ, позволяющую в конкретных условиях выбрать нужный объем и форму пост-гарантийной поддержки. Например, может проводиться ежегодный аудит системы, по результатам которого пользователю представляется отчет и рекомендации по возможным изменениям. Они могут касаться доработок модели, РСУ-части, переподготовки инструкторов тренинга<sup>8</sup>. Работы могут выполняться по отдельным соглашениям или в рамках заранее предусмотренного бюджета. В рамках договора специалисты заказчика проходят курс поддержки системы (включая поддержку математической модели и модификацию РСУ-части), тогда часть работ по сопровождению может выполняться силами заказчика, что снижает стоимость владения.

**Объединенная тренажерная команда**

В работе [8] детально анализируется тренажерный проект, его участники и их взаимодействие на всем жизненном цикле системы. В целом, участники делятся на пользователей и разработчиков, хотя есть еще и исследователи, продавцы и покупатели.

<sup>8</sup> Первоначальный курс подготовки инструкторов — неперемнная часть обязательств исполнителя — проводится до приемных испытаний на площадке. Желательно, чтобы первыми инструкторами стали специалисты, консультировавшие исполнителя на стадии разработки и участвовавшие в приемке КТ.

<sup>9</sup> Этот тип КТ может использоваться на предприятии при «горизонтальной ротации» кадров, когда опытные операторы переводятся на установки с принципиально другой технологией. В России растет спрос на такие КТ в вузах.

Остановимся подробнее на команде пользователей, очень разнообразной и в целом «покрывающей» все аспекты синтетической тренажерной технологии. Можно выделить *технологов* — ключевых экспертов по тренажерной модели (они формулируют требования по ее полноте и точности; консультируют разработчиков на стадии разработки и приемки модели); *метрологов и специалистов АСУТП*, курирующих интерфейсную часть КТ (включая АРМ оператора, системы базового регулирования, ПАЗ, расширенного регулирования и усовершенствованного управления); *инженеров по технике безопасности*, отвечающих за безаварийную работу ТП и соответствие КТ правилам и процедурам техники безопасности, принятым на предприятии и в отрасли (в частности, за соблюдение требований Ростехнадзора РФ к компьютерному тренингу операторов); *специалистов по подготовке кадров*, наиболее заинтересованных в тренажерах и наиболее близких к исполнителю в методическом плане. Слаженная работа всех участников — залог успеха проекта. Если для разработчика эта слаженность — часть принятых производственных практик, заказчики и пользователи должны обеспечить командную работу в рамках конкретного проекта. Это требует дополнительных усилий, но мировая и отечественная практика ясно свидетельствует, что эти усилия окупаются сторицей.

**Смежные задачи автоматизации**

Тренажеры для обучения операторов — отдельно взятая синтетическая технология; в то же время ее компоненты — инструменты для решения многих смежных задач. Такая синергия представляет собой весомый аргумент в пользу эффективности КТ. В настоящем разделе представлен краткий обзор таких решений.

**Типовые тренажеры**

Помимо полномасштабных специализированных тренажеров, предназначенных для подготовки операторов высоких разрядов к работе в специфических нештатных и аварийных ситуациях, существует спрос на типовые тренажеры. Цель последних — обучить вновь принимаемых работников принципам работы ТП<sup>9</sup>. Различие в требованиях к тренажерам разного типа затрагивает, прежде всего, первые два элемента вышеописанной структуры КТ (модель ТП и информационную модель). В то же время требования к модели обучения, в целом, совпадают. Последнее объясняется тем, что методики обучения отражают существо общей задачи формирования и закрепления навыков управления динамическими технологическими объектами.

Для типового КТ достаточно наличия стандартной тренажерной модели, описывающей работу процесса в типовых режимах и при типовых нарушениях; разница в стоимости стандартной и специализированной моделей — во многие разы. Операторский интерфейс в типовом КТ не требуется «привязывать» к конкретному типу РСУ, поэтому можно использовать недорогую эмуляцию типовой системы управления.

Типовые тренажеры просты в реализации и для своих целей чрезвычайно эффективны. ЗАО «Хоневелл» имеет множество типовых решений для учебных классов предприятий и аффилированных с ними вузов [9].

#### *Технологический инжиниринг*

Точное моделирование динамических процессов все более востребовано для решения технологических задач на всем жизненном цикле производства. Отметим лишь основные аспекты [3, 10].

*Совершенствование производства до начала строительства.* Имитационное моделирование ТП может улучшить основные проектно-технические решения, что важно, поскольку 60% капитальных вложений делается на ранних стадиях проектирования. В результате удастся снизить расходы на реализацию проекта, уложиться в отведенные сроки и минимизировать риски. Моделирование позволяет оптимизировать капитальные затраты за счет предварительной оценки различных производственных сценариев. Выявление ошибок в проекте отдельных элементов оборудования или даже части всей технологической схемы позволяет вернуть значительно больше, чем затраты на динамическое моделирование. Обнаружение этих проблем после ввода объекта в эксплуатацию может потребовать на их решение несколько лет.

*Проверка инженерных решений.* Инжиниринговые исследования на этапе проектирования позволяют подтвердить готовность производственных фондов к вводу в эксплуатацию. Таким же образом можно проанализировать воздействие технологических и управленческих решений на эргономическую и экологическую среду, на экономический фактор производства (включая анализ потенциальных опасностей). Например, динамическое моделирование пропускной способности факельной системы позволяет понять, способна ли она выдержать новые увеличенные нагрузки вследствие расширения производственных мощностей. Часто исследование показывает, что необходимости в расширении системы сброса на факел нет, что позволяет сэкономить десятки миллионов долларов.

*Разработка и обоснование операционных процедур и стратегий.* Для достижения желаемых производственных результатов используются разные стратегии управления. Динамическое моделирование позволяет предсказать поведение ТП во время пуска, составить и проверить эффективные процедуры и стратегии управления еще до начала строительства. Так, для одного из заводов по производству сжиженного при-

родного газа на раннем этапе проектирования была разработана модель контура рециркуляции хладагента. С ее помощью заказчик менее чем за 30 минут убедился в необходимости изменить схему пуска производства, поскольку у завода нет пропана, достаточного для получения необходимого для пуска запаса хладагента.

*Анализ действующих производственных процессов.* Имитационное моделирование ТП и стратегий управления до пуска объекта повышает надежность производства, но не устраняет необходимости его постоянного совершенствования. Например, оборудование со значительным временем пребывания материала внутри аппаратов (конденсаторы, дистилляционные колонны и реакторы) может негативно влиять на потоки во всем процессе. Для выявления таких эффектов традиционно использовалось статическое моделирование, но для анализа их развития во времени и оценки их влияния на устойчивость производства в целом необходимо динамическое моделирование. Так, на различных стадиях производственного цикла целлюлозно-бумажного завода функционирует множество варочных котлов, обслуживаемых единой системой водоснабжения. Статические модели не позволяют заказчику убедиться в наличии достаточного количества воды для обслуживания всех котлов, потому что последние могут работать в разное время. Динамическая модель обеспечивает такую проверку при реализации всех производственных сценариев.

#### *Инжиниринг систем управления*

От грамотности внедрения АСУТП зависит достижение операционных целей и недопущение сбоев в работе процесса. Динамическое моделирование позволяет воспроизвести реалистичные сценарии, по которым РСУ может быть протестирована в динамике. В результате можно оценить:

- конфигурацию операторских станций с точки зрения ясности и наглядности представления ТП;
- способность системы базового регулирования поддерживать надежную работу оборудования;
- систему сигнализации и аварийных сообщений, привлекающую внимание оператора к возможным сбоям;
- систему ПАЗ, предупреждающую выход объекта за допустимые пределы безопасной работы.

С помощью динамического моделирования можно еще до пуска технологической установки в эксплуатацию оценить верность допусков и ограничений, заложенных в систему управления и ПАЗ. Иногда новую установку невозможно пустить из-за избыточных блокировок. Выявление таких ситуаций на тренажерной модели позволяет заблаговременно внести изменения в проект и конфигурацию РСУ и ПАЗ, сократив время ввода объекта в эксплуатацию.

В сочетании с профессиональной подготовкой операторов такие исследования помогают выявить недостатки в конфигурации РСУ и ПАЗ. Например, динамическое моделирование больших компрессо-

ров позволяет изучить потенциальные ошибочные ситуации в работе оборудования и выявить любые дефекты системы их защиты. Ущерб от поломки компрессоров во время реальной эксплуатации может составить десятки млн. долларов, поскольку включает не только затраты на приобретение нового или ремонт существующего оборудования, но и упущенную выгоду из-за простоя предприятия. Более того, при серьезном повреждении крупных компрессорных систем (если необходима полная или частичная замена оборудования) на внедрение нового оборудования может потребоваться 2...3 года.

Для проекта по разработке газового месторождения в Новой Зеландии компанией Honeywell был построен динамический тренажер и организовано обучение персонала. В тренажерную модель было включено все оборудование предприятия, а на рабочем месте обучаемого оператора использовалась точная копия реальных РСУ. Имитационное моделирование позволило до пуска объекта тщательно протестировать производственную схему, базовое регулирование, систему ПАЗ, графику РСУ и операционные процедуры.

Статические модели могут подсказать, в какой режим перейдет ТП после изменения управления, но не могут показать, насколько устойчивым будет процесс после такого перехода. С помощью динамических моделей можно предсказать траекторию перехода процесса из одного состояния в другое в широком временном диапазоне. Эта критически важная информация позволяет понять, правильно ли работает система управления. В результате пользователь может манипулировать процессом и выводить его параметры за нормальные значения с целью проверить потенциал повышения производительности без угрозы отказов.

#### ***Усовершенствованное управление ТП***

Особо актуальный пример использования динамической модели ТП для управления процессом — усовершенствованные системы управления (Advanced Process Control, APC) [11]. Идея APC — прогнозирование будущего поведения ТП и выбор такого управляющего воздействия, которое обеспечивает лучшее значение заданного критерия качества функционирования объекта при соблюдении ограничений технико-экономического характера. В результате удается решить разнообразные задачи управления процессом от высококачественной стабилизации выходных переменных до оптимизации экономических показателей производства. На нижнем уровне APC-системы (управление группами оборудования или отдельными установками) для прогнозирования используются простые входо/выходные модели; но для оптимизации работы группы установок или всего производства необходимы фундаментальные имитационные модели ТП.

Так, в проекте APC-системы дегидрататора, реализованном компанией Honeywell на Ближнем Вос-

токе, отклонение полученной имитационной модели от проектных теплового и материального балансов не превысило 2%. Модель использовалась в качестве заменителя реального ТП, на ней позднее проводились настройка контуров регулирования и пошаговое тестирование. Именно этим моделируемым «ТП» управляла созданная APC-система на этапе ее настройки и «офисных» испытаний. Это позволило операторам освоиться с APC-системой на самых ранних этапах обучения.

#### ***Техническая диагностика***

Имитационные модели применяются в задачах мониторинга и диагностики ТП. Для этого результаты «проигрывания» модели сравниваются с реальной работой объекта. Обнаруженные рассогласования рассматриваются как показатели неисправности ТП. Преимущества такого подхода (в сравнении с традиционными): отпадает необходимость рутинного расчета диагностических правил, легко обсчитываются динамические элементы технологической схемы и др. В то же время диагностические системы должны снабжаться высокоточными моделями ТП; иначе возможны пропуски или ложные срабатывания.

#### ***Верификация данных; оптимизационное и календарное планирование***

Имитационные модели с успехом используются для определения материальных и тепловых балансов, обнаружения неправильных измерений и сглаживания данных для целей мониторинга, долгосрочного планирования и статической оптимизации производства. Недоучет возможных дисбалансов резко снижает качество управления производством, а применение имитационного моделирования позволяет эффективно обнаруживать и отсекалать несостоятельную и противоречивую информацию, подключая к анализу текущие измерения переменных процесса и данные лабораторных анализов.

Для оптимизационного планирования и составления производственных расписаний имитационная модель может использоваться для подстройки ЛП-матрицы (описание технологического объекта в терминах задачи линейного программирования). Точная ЛП-матрица приведет к повышению точности планирования и ощутимым экономическим выгодам. В практике оптимизационного планирования точная модель используется также для получения ЛП-векторов, описывающих варианты работы технологических установок.

#### ***Психологические исследования деятельности операторов***

На переднем крае исследований в последние годы находится использование КТ как инструментальной платформы для экспериментального изучения деятельности операторов сложных ТП. На реальном объекте такое экспериментирование невозможно (крайне дорого и опасно), а лабораторные платформы до сих пор не обеспечивали необходимого уровня подобия. В этой ситуации тренажеры оказались ред-

кой находкой, сочетающей высокое подобие операторской деятельности и удобные инструментальные средства экспериментирования (фиксация условий и результатов тестирования и пр.).

В [5] описан ряд таких экспериментов и приведены ссылки на другие. Среди них:

- анализ преимуществ «экологического» операторского интерфейса (построенного с учетом причинно-следственных связей между параметрами ТП, что упрощает навигацию в нештатных ситуациях);

- обоснование эффективности систем предтренажерного обучения;

- исследование механизмов формирования у операторов целостного представления о ТП, без которого эффективное управление процессом невозможно.

Разработчики КТ и инженерные психологи выигрывают от таких междисциплинарных исследований: психологи получают серьезный экспериментальный инструмент, а тренажеростроители усиливают методическую базу компьютерного тренинга. Так сложилось, что Россия оказалось пионером в таком сотрудничестве, хотя ряд исследований был проведен и за рубежом.

#### **Футурология тренажеростроения — что нас ожидает?**

Промышленная история КТ началась в 80-х годах XX века и содержит три выраженных этапа развития [1]; таким образом, поколения тренажеров сменяются каждое десятилетие. Опираясь на многолетний опыт разработки и внедрения тренажерных систем, оценим вектор развития тренажеростроения по основным составляющим КТ.

#### **Моделирование ТП**

Представляется, что на настоящий момент универсальные средства динамического моделирования ТП близки к насыщению, при том, конечно, что усиление библиотек моделей, решателей, баз физико-химических свойств веществ всегда возможно и полезно. В этой связи дальнейшее развитие КТ в части моделирования может быть связано со следующим:

- создание открытых библиотек тренажерных моделей (модели от сторонних производителей — поставщиков оборудования, технологических лицензиаров<sup>10</sup>);

- стандартизация интерфейсов взаимодействия моделей;

- полнофункциональные симуляторы контроллеров РСУ (ПО контроллера Sim C300 уже существует);

- специализированные симуляторы APC-контроллеров (от поставщиков APC-систем);

- моделирование системы управления на уровне оборудования РСУ (шкафы, преобразователи, кабели и т. п.), что позволит привлечь к тренингу инженеров АСУТП.

По-видимому, будет наблюдаться движение в обоих направлениях: все большая специализация моде-

лей конкретных технологических аппаратов и блоков технологических установок (реакторов, колонн, пр.) наряду с универсализацией моделей, применимых не только для тренинга операторов, но и для решения смежных (в основном инжиниринговых) задач.

#### **Операторские интерфейсы**

Для интерфейса консольного оператора можно ожидать дальнейшее сращивание КТ с ПО РСУ. Новейшие возможности ЧМИ современных РСУ и SCADA-систем будут переноситься в тренажеры посредством промышленных стандартов взаимодействия (например, OPC). Будут развиваться и недорогие эмуляционные решения для различных РСУ — для первичного тренинга действующих и обучения будущих операторов.

Появятся виртуальные органы управления ТП, функциональные клавиатуры, пульты; продолжится наполнение операторского интерфейса мультимедийным содержанием (характерные звуки, видеоролики о работе оборудования, о последовательностях операций управления и обслуживания).

Перспективна разработка электронных инструкций (справочные материалы, технологические схемы, чертежи). При привлечении современных мультимедийных технологий возможно использование тренажеров в системах капитализации знаний опытных профессионалов [12].

Для полевых операторов продолжится развитие как недорогих навигационных решений (панорама, облегченные 3D), так и технологий дополненной реальности (augmented reality) — нательные приборы (умные очки, телефоны, и пр.) Это не только усилит визуальные ощущения, но и позволит совместить физическое перемещение оператора по площадке с виртуальными элементами управления.

#### **Методики тренинга**

Развитие этого компонента КТ представляется наиболее актуальным — именно методики тренинга становятся важнейшим дифференциатором тренажерных продуктов от разных производителей.

Можно ожидать дальнейшего усиления предтренажерных средств обучения и их интеграции с КТ. Будет совершенствоваться инструкторский инструментарий. Разовьются средства анализа статистики ключевых показателей обучения (таких как полученные баллы, критические ошибки, участки ТП, вызывающие больше всего трудностей при тренинге, и пр.) на основе детальных протоколов тренингов. Анализ можно будет проводить в персональном срезе, по операторским сменам, по всем операторам установки и по иным принципам группирования (возраст, опыт работы, должностная категория и пр.). Появятся надежные средства автоматизированной оценки операторского прогресса.

Перспективное направление — оценка объективных изменений, претерпеваемых операторами в ре-

<sup>10</sup> Компания Honeywell-UOP располагает динамическими моделями своих каталитических процессов, которые уже доступны для тренажеров, выполняемых на платформе Honeywell.

зультате тренинга [5]. Если такую надежную оценку удастся построить, она наверняка вызовет прорывные изменения в методике тренинга, позволяющие индивидуализировать планы обучения на основе обратной связи по результатам конкретных операторов.

Будут совершенствоваться и средства автоматизированной поддержки принятия операторских решений при обучении. Так, за счет усиления базы знаний причинно-следственных отношений в ТП детальной информацией о логике развития нештатных ситуаций можно обеспечить контекстное пояснение каждого спорного момента, давая возможность обучаемому самостоятельно проследить причинно-следственную цепочку событий в процессе вплоть до первопричины.

#### **Технические решения**

Важнейшая проблема компьютерного тренинга — поддержание работоспособности тренажера, включая сопровождение и модификацию модели процесса и системы управления при неизбежных изменениях на реальной установке. Также требуют сопровождения оборудование и ПО тренажерного комплекса, организация процесса обучения (хранение отчетов о тренинге, анализ достижений операторов, пр.). Решение проблемы усугубляется отсутствием (или дефицитом) у заказчика технических специалистов, способных поддерживать оборудование и ПО КТ, развивать тренажерные модели, готовить грамотных инструкторов обучения. Представляется, что эти объективные трудности будут преодолеваться за счет двух ключевых технологий.

**Виртуализация КТ.** Использование сервера виртуальных машин на площадке заказчика упростит развертывание тренажера (копирование виртуальных машин), устранил стороннее ПО, облегчит восстановление системы при поломке, упростит администрирование.

**Облачные технологии.** Возможны два пути использования таких технологий в КТ:

— размещение виртуальных машин в дата-центре заказчика обеспечит все вышеприведенные выгоды виртуализации и добавит возможность удаленного управления КТ заказчиком;

— размещение виртуальных машин на стороне разработчика создаст возможности дистанционного обучения, предоставления типовых моделей по подписке, анализа результатов.

Как и в других задачах, использование этих технологий для нужд КТ поставит проблемы обеспечения необходимого трафика данных, конфиденциальности и информационной безопасности.

#### **Некоторые примеры**

Практический опыт ЗАО «Хоневелл» только за последние 10 лет после присоединения к нему СП «Петроком» насчитывает многие десятки тренажерных проектов на 40 крупных технологических площадках России и стран СНГ. Ниже остановимся только на нескольких примерах.

**Хабаровский НПЗ.** В течение 2012–2014 гг. были разработаны КТ для следующих технологических установок: вакуумный блок и блок висбрекинга, абсорбционно-газофракционирующая установка, секция изомеризации, установки ЭЛОУ-АТ, ЭЛОУ-АВТ и каталитического риформинга.

Первый проект (тренажер для строящихся вакуумного блока и блока висбрекинга) был введен в работу до пуска реального объекта, что позволило загодя обучить оперативный персонал. Кроме того, заказчик искал решение, которое позволило бы протестировать проекты РСУ и ПАЗ до загрузки их на реальные контроллеры, проверить проекты на наличие ошибок, а в дальнейшем решать с помощью тренажера задачи инжиниринга ТП. Такой платформой стало решение UniSim<sup>®</sup> Operations (USO), на базе которого были созданы и все следующие тренажерные комплексы на Хабаровском НПЗ. Функциональность USO позволяет заказчику проводить обучение персонала не только в режимах пуска, останова (нормального и аварийного), в штатных, нештатных и аварийных ситуациях, но изучать и анализировать влияние параметров процесса, внешних и внутренних возмущений на количественные показатели производства и качественные показатели продуктов. Для этих целей рассчитываются и выводятся на станции инструктора все лабораторные анализы, выполняемые на реальном объекте. Инструктор также может изменять состав подаваемого на установку сырья. Для установки риформинга помимо традиционной станции оператора-обходчика реализовано новое решение — 3D панорама технологической площадки, позволяющее обучать операторов расположению оборудования на технологической площадке, что критически важно для управления установкой в аварийных ситуациях.

**Киришиннефтеоргсинтез.** Первый тренажерный комплекс для ОАО «КИНЕФ» был выполнен в 2003 г. для установок каталитического риформинга и Парекс. В 2012 г. был завершен обширный тренажерный проект для строящегося комплекса глубокой переработки нефти, включающий вакуумный блок, установку гидрокрекинга, установку висбрекинга, секцию производства элементарной серы, производство и концентрирование водорода. Особенностью проекта было создание адекватных (в широком диапазоне) математических моделей сложных ТП. Так, для установки гидрокрекинга заказчик потребовал реализовать три разных режима (максимизации выхода дизельной фракции, реактивного топлива и суммарно дизельной фракции и реактивного топлива) для трех различных состояний катализатора — начало цикла, нормальное состояние и конец цикла. Это был также чрезвычайно масштабный проект с точки зрения РСУ и ПАЗ, которые включали разветвленную схему управления процессом и автоматизированными пусковыми операциями. В тренажере использовалось ПО, полностью повторяющее функциональность реальных контроллеров и сервера РСУ. В тренажере были загружены

актуальные проекты РСУ и ПА3, которые были протестированы до пуска реального объекта.

*Саратовский НПЗ.* Сотрудничество с ОАО «Саратовский НПЗ» началось в конце 1990-х годов. Первой разработкой стал тренажер установки каталитического риформинга Л-35-11/300, затем были проекты по оснащению учебного центра предприятия тренажерами для установок ЭЛОУ-АВТ-6 (2004 г.), висбрекинга (2006 г.), гидроочистки Л-24-6 (2009 г.), производства элементарной серы и каталитического рифоринга Л-35-11/600 (2009 г.). Часть тренажеров была модернизирована после реконструкций, проведенных на реальных установках. В 2012 г. на заводе началось строительство установки изомеризации пентан-гексановой фракции. В это же время началась и разработка тренажерного комплекса, который затем был дополнен блоком КЦА (короткоцикловая адсорбция). К настоящему моменту система успешно сдана в промышленную эксплуатацию. Для всех КТ на Саратовском НПЗ использовалась тренажерная платформа КТК-М, сохраненная в тренажерной линейке Honeywell. Применение КТК-М обеспечивает высокоэффективное обучение персонала благодаря высокоточной модели ТП и операторскому интерфейсу, идентичному реальному пользовательскому интерфейсу АСУТП.

*Омский НПЗ.* За период 2008-2013 гг. для ОАО «Газпромнефть — ОНПЗ» были разработаны КТ для установок ГФУ-2 (2008 г., Yokogawa Centum CS3000), каталитический риформинг бензина Л-35-11/1000 (2009 г., эмуляция ABB), АВТ-10 (2011 г., эмуляция DeltaV), изомеризация (2011 г., Yokogawa Centum CS3000), гидроочистка бензинов каталитического крекинга (2012 г., эмуляция Yokogawa Centum CS3000), гидроочистка дизельных топлив (2012 г., эмуляция Yokogawa Centum CS3000). Часть моделей позднее была модернизирована с учетом изменений на реальных установках. Особенность Омского НПЗ в части организации обучения оперативного персонала — упор на отработку ликвидации аварийных ситуаций. Для этих целей заводом были созданы два учебных класса, уникальных по уровню оснащения (одновременная работа бригады операторов до 10 человек, лингафонная связь между всеми участниками тренинга, возможность автоматизированного оценивания действий операторов). Все разработанные ЗАО «Хоневелл» тренажерные комплексы были перенесены в новые учебные классы.

*Комсомольский НПЗ.* Первый тренажерный комплекс для ООО «РН — Комсомольский НПЗ» был выполнен в 2000 г. для установки изомеризации. К настоящему моменту ЗАО «Хоневелл» внедрил КТ для установок замедленного коксования (2011 г., Yokogawa Centum VP), производства элементарной серы (2013 г., RSView), базы хранения и отгрузки сжиженных газов (2013 г., Yokogawa Centum CS3000). В 2013 г. на платформе USO был заново выполнен тренажер для установки изомеризации (RSView).

Отметим уникальный по объему опыт ЗАО «Хоневелл» в разработке КТ для обучения персонала

производства аммиака. Все эти проекты выполнены с использованием ПО РСУ, функционирующего на реальных установках. Графические интерфейсы и функциональность операторских станций полностью соответствуют РСУ, включая мнемосхемы, блоки управления, тренды и другие элементы мониторинга и управления ТП. Тренажерные операторские станции снабжены специализированными функциональными клавиатурами. Первый аммиачный тренажер был выполнен в 2005 г. для Одесского припортового завода (TDC 3000); затем последовали проекты для «Черкаск Азот» (2006 г., Honeywell TPS), «Череповецкий азот» (2007 г., Honeywell Experion PKS), три тренажера для ОАО «НАК «Азот» (2014 г., Experion PKS, Foxboro I/A, SCADA Simplicity), два тренажера для ОАО «ЗМУ-Кирово-Чепецкий химический комбинат» (2014 г., Experion PKS), два для ОАО «Невинномысский Азот» (2014 г., Foxboro I/A). В настоящий момент в стадии разработки находятся тренажеры для ОАО «Гродно Азот» (Experion PKS), ОАО «Тольяттиазот» (Experion PKS) и ОАО «Аммоний» (эмуляция Yokogawa Centum VP). Последний включает также производство метанола, карбамида и формальдегида.

Упомянем выполненные ЗАО «Хоневелл» большие тренажерные классы в университетах и колледжах, оснащенные моделями типовых ТП, — в Губкинском университете (2000-2015 гг.) [9], «Профессиональном лицее 96» (Ачинск, 2008 г.), Салаватском индустриальном техникуме (2008 г.) и др.

### Заключение

Современный тренажерный контекст характеризуется следующим:

- безопасность всегда будет оставаться актуальным вызовом, экономить на ней недопустимо;
- с учетом демографических проблем КТ как средству повышения промышленной безопасности нет альтернативы (ни технической, ни методической, ни экономической);
- несмотря на сугубо техническую основу, КТ — чрезвычайно «человеческий» инструмент: предназначены для обучения операторов; создаются и оцениваются на основе экспертных знаний технологов; используются инструкторами. Игнорировать человеческий фактор при выборе и реализации КТ значит снижать потенциальный эффект тренажерного проекта;
- создание тренажера — проект; его правильная организация — непереносимое условие успеха;
- КТ превращаются в ключевой компонент высокотехнологичной автоматизации на предприятии. Содержащиеся в тренажерах технологии являются инструментами решения многих важных задач автоматизации. Правильно организованный тренажерный проект находится на виду высшего руководства компаний и заводов; его владельцы превращаются в ключевые фигуры инновационных изменений;
- в современных российских экономических реалиях КТ становятся еще актуальнее: нагрузка на опе-

раторов повышается; в целом технологические активы стареют; экстенсивные факторы повышения прибыли исчерпываются, и спрос на качественное управление возрастает; технологические и человеческие риски нарастают (последние аварии на крупнейших производственных площадках очень показательны);

— признаков сокращения инвестиций в подготовку персонала не наблюдается, и этого не может быть при возрастании техногенных рисков.

Все это позволяет обоснованно предположить, что спрос на КТ останется высоким (как это и наблюдается несколько последних лет), но возможности заказчиков инвестировать в тренажерные проекты, принимая во внимание цену нефти и курс национальной валюты, в долларовом выражении будут снижаться. Перед заказчиками возникает альтернатива: обратиться к недорогим отечественным решениям (к сожалению, не всегда обеспечивающим необходимый уровень качества КТ) или работать с мировыми производителями.

Доля инжиниринга в стоимости тренажерного проекта достигает 85...90%. При условии, что мировые поставщики обладают в России развитыми ресурсами разработчиков, чьи услуги калькулируются в рублях, они могут предложить заказчику тренажеры мирового уровня при сохранении рублевых цен. ЗАО «Хоневелл» — именно такая компания; в его тренажерном департаменте работают 20 высококвалифицированных и опытных инженеров. За эти годы мы подготовили серьезных российских партнеров и способны реализовать силами российских разработчиков большой объем тренажерных проектов.

Мы благодарны всем нашим заказчикам за их выбор и многолетнее взаимовыгодное сотрудничество и заверяем их и других потенциальных пользователей, что всегда останемся с отечественной промышленностью.

#### Список литературы

1. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. М.: Синтег. 2009.

*Дозорцев Виктор Михайлович — д-р техн. наук, директор департамента высокотехнологичных решений и консалтинга», Агафонов Дмитрий Витальевич — руководитель отдела,*

*Назин Владимир Александрович — ведущий инженер, Новичков Алексей Юрьевич — консультант,*

*Фролов Алексей Иванович — старший технический консультант отдела моделирования и компьютерного тренинга операторов ТП ЗАО «Хоневелл».*

*Контактный телефон (495) 797-99-36.*

2. Bainbridge L. Ironies of Automation // Automatica. 1983. Vol. 19. No. 6.

3. Мхитарян Л., Бродкоб М., Росс М., Сластенов И.В. UniSim Design — эффективный подход к моделированию жизненного цикла ТП // Автоматизация в промышленности. 2015. № 7.

4. Назин В.А. Автоматизированные системы обучения персонала технологических установок // Автоматизация в промышленности. 2006. № 6.

5. Дозорцев В.М. и др. Формирование у операторов концептуального понимания технологического объекта: актуальная задача и объективный результат компьютерного тренинга // Автоматизация в промышленности. 2014. № 12.

6. Дозорцев В.М., Кнеллер Д.В., Левит М.Ю. О проблеме адекватности тренажерных моделей технологических процессов // Тр. междунар. конференции SICPRO'2000. Москва. 2000. С. 51-61.

7. Дозорцев В.М., Ицкович Э.Л. Особенности выбора компьютерного тренажера для обучения операторов технологических процессов // Автоматизация в промышленности. 2010. № 4.

8. Дозорцев В.М. Разработка тренажера для обучения операторов технологических процессов: основные участники, их роли и взаимодействия // Автоматизация в промышленности. 2009. № 5.

9. Попадьюк В.Е., Чернышева Е.А., Дозорцев В.М., Першин О.Ю., Соркин Л.Р. Высокотехнологичные программные продукты ЗАО «Хоневелл» — основа качественной подготовки специалистов в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина // Автоматизация в промышленности. 2015. № 7 (в печати).

10. Дозорцев В.М., Крейдлин Е.Ю. Современные автоматизированные системы моделирования ТП // Автоматизация в промышленности. 2009. № 6.

11. Логунов П.Л., Шаманин М.В., Кнеллер Д.В., Сетин С.П., Шундерюк М.М. Усовершенствованное управление ТП: от контура регулирования до общезаводской оптимизации // Автоматизация в промышленности. 2015. № 4.

12. Лалу С., Носуленко В.Н., Самойленко Е.С. SUBCAM как инструмент психологического исследования // Экспериментальная психология. 2009. Т. 2. № 1.

#### Rio Tinto Alcan Gove совершенствует обучение операторов и сокращает сроки пуска производства с помощью UniSim

Компания Rio Tinto Alcan (RTA) Gove приняла решение увеличить мощности своего глиноземного завода на полуострове Гоув на Севере Австралии за счет перехода на использование технологии двойного выщелачивания. На сегодняшний день в мире используется не так много контуров двойного выщелачивания, поэтому у RTA Gove не было возможности учиться на опыте других заводов. Было принято решение провести обучение операторов на компьютерном тренажере, реализованном на платформе UniSim.

Модель процесса выщелачивания на заводе RTA Gove включает 135 модулей резервуаров, 85 насосов, 1037 регулирующих клапанов и примерно 158 единиц другого технологического оборудования, такого как теплообменники. Смоделировано 386 управляемых полевых устройств, главным образом клапанов с ручным приводом, и 7370 точек приложения управляющего воз-

действия. Программа обучения предусматривает имитацию 1242 неполадок. Расчет модели процесса на ПК занимает 0,2 с времени процессора, и модель рассчитывается каждые 2 с, что более чем достаточно для реалистичной имитации динамики процесса.

Для организации обучения операторов до ввода завода в эксплуатацию систему управления пришлось разработать на полгода раньше, чем было бы необходимо без тренажерной программы. Хотя это создало дополнительную нагрузку на инженеров, систему смогли протестировать и ввести в эксплуатацию на тренажере задолго до пуска самого завода. В результате было получено более 240 предложений по доработке системы. Система управления была полностью испытана и работоспособна еще до ввода в эксплуатацию, что дало инженерам-пусконаладчикам возможность сосредоточиться на ТП и оборудовании.

[Http://www.honeywell.com/ps](http://www.honeywell.com/ps)