

## ВВЕДЕНИЕ

Имитационное моделирование сложных динамических объектов для решения задач инжиниринга чрезвычайно востребовано во многих практических приложениях промышленной автоматизации. При этом инжиниринговые задачи могут относиться к самым разным аспектам управления технологическими объектами, а сами модели могут быть весьма разнообразны по методам построения и способам описания объекта. Важно, что моделирование выходных переменных и их учет при выборе воздействий на объект дают качественно новые возможности улучшения характеристик функционирования объекта в сравнении с традиционными методами решения инжиниринговых задач.

В подборке представлены статьи практически по всем направлениям инжиниринга технологических объектов. Так, инжинирингу систем управления посвящены работы:

- В.Е. Захарченко, где построенная по реальным данным имитационная модель гидроагрегата используется для тестирования алгоритмов АСУТП;

- А.А. Амбарцумяна и Д.Л. Казанского, в которой событийная модель объекта управления применяется на ранних этапах конструирования системы управления.

В рамках технологического инжиниринга приведены исследования А.Н. Фищенко по моделированию работы системы массового обслуживания вулканизационного производства, М.Б. Глебова с соавторами по фундаментальному моделированию ректификационной установки, А.К. Хмельницкого по прогнозированию качества производства бумаги на базе нейронного моделирования, Е.Ю. Ермоленко и О.В. Веселова по оцениванию эффективности функционирования электромеханических систем с помощью моделирования электропривода в пространстве состояний, К.А. Колязова с соавторами по синтезу методами нечеткой логики модели ТП производства молока. В работе Е.А. Ефимовой модель пропускной способности транспортной сети используется для анализа и планирования реконструкции городских автомобильных дорог.

Особое место имитационные модели ТП находят в задачах компьютерного тренинга оперативного персонала, который принято рассматривать как инжиниринг операторских знаний. В статье В.М. Дозорцева дан обзор современного состояния и ближайших перспектив развития компьютерных тренажеров в России и за рубежом.

## СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТРЕНАЖЕРЫ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ ТП: СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ БЛИЖАЙШЕГО РАЗВИТИЯ

**В.М. Дозорцев (ЗАО "Хоневелл")**

*Приведен краткий обзор мирового и российского рынка компьютерных тренажеров для обучения операторов ТП. Выделены базовые характеристики (функциональность, точность, масштабность), по которым проанализировано современное состояние и перспективы развития компьютерных тренажеров.*

В текущем году исполняется 15 лет появлению на отечественных предприятиях нефтяной отрасли современных компьютерных тренажеров (КТ) для обучения операторов сложных ТП. Отвлекаясь от предшествующей этому по-своему интересной истории отечественного тренажеростроения и "точечных" появлений зарубежных КТ, именно этот период можно рассматривать как время становления и укрепления российского тренажерного рынка. Если сравнивать его с мировым рынком КТ для производств химико-технологического типа<sup>1</sup> (более 220 млн. долл. США в год) или европейским (более 80 млн. долл. США в год, включая Ближний Восток), то его доля незначительна. Собственно российской статистики не существует, но на основе имеющейся разрозненной информации ежегодные продажи КТ в течение 2003-2005 гг. только в нефтепереработке и нефтехимии можно оценить в 2,5...3 млн. долл. США. С учетом всех сложностей переходного периода в российской экономике конца 90-х начала 2000-х годов появление тренажер-

ных продуктов (самого разного класса) примерно на сорока предприятиях отрасли нельзя недооценивать.

По данным авторитетнейшей аналитической и консалтинговой организации – ARC Advisory Group [1] при среднегодовом росте продаж КТ в мире в 8% в период 2007-2010 гг. наиболее существенный рост ожидается в регионах с интенсивным строительством и реконструкцией производства – в Китае, в Индии, в странах Восточной Европы и, в частности, в России и других странах бывшего СССР.

Отметим, что все это происходит на фоне достаточно высокой стоимости КТ, не проявляющей за последние годы никаких признаков снижения. Такая цена объясняется включением в современные тренажеры дорогостоящего аппаратного и ПО PCY и ПЛК и увеличением затрат на инжиниринг (проектирование, конфигурирование, тестирование и настройку) высокоточных тренажерных моделей. На мировом рынке даже типовые КТ для одной технологической установки с эмулированием операторских интерфейсов и контроллеров могут стоить

<sup>1</sup>Традиционно помимо нефтепереработки к этому сегменту относят нефтехимию, химию, нефте- и газодобычу, целлюлозно-бумажную, горно-металлургическую, фармацевтическую и пищевую промышленность. Тренажеры для энергетики (в том числе, атомной), авиационные, морские, автомобильные и железнодорожные тренажеры, принадлежащие к особой и весьма развитой предметной области, в данной работе остаются за пределами рассмотрения.

до 400 тыс. долл. США. Такие тренажеры полезны для первичного тренинга операторов без серьезного опыта работы. В то же время высокоточные, полномасштабные КТ, имеющие в своем составе реальные консоли и БД РСУ, обеспечивающие бригадный тренинг персонала и покрывающие все технологические операции как в операторной, так и "по месту", могут обойтись заказчику в несколько млн. долл. По оценкам, приведенным в [2], стоимость таких систем может достигать 20% от совокупной стоимости РСУ и систем ПАЗ. Ценовая ситуация на российском рынке по объективным причинам существенно отличается, хотя тенденция последних лет свидетельствует об удорожании КТ, отражающем рост их потребительских свойств, без чего заказчики не пошли бы на столь значительные инвестиции.

Понимание потенциала российского рынка крупными мировыми производителями КТ отражается в практических шагах. Так, корпорация Honeywell приобрела многолетний российского производителя тренажеров СП "Петрком", выполнившего за период 1992-2005 гг. более 100 типовых и специализированных КТ более чем на 25 предприятиях в России и за рубежом. Аналогичные попытки предпринимают основные конкуренты Honeywell в области промышленной автоматизации — корпорации Emerson и Yokogawa. Все это не случайно, как и то обстоятельство, что в последние годы редкое новое строительство, реконструкция или переоснащение крупной технологической установки в отрасли не рассматривалось как потенциальная площадка для внедрения КТ.

За казалось бы короткий 15-летний временной отрезок компьютерное тренажеростроение претерпело и продолжает претерпевать динамические и — в определенном смысле — принципиальные изменения. Отечественный рынок, преодолевая свое понятное отставание, испытывает эти изменения в полной мере, что проявляется в стремительно меняющихся требованиях заказчиков к КТ. В этих условиях в силу неукоренности тренажерной тематики, недостаточного знакомства специалистов-производственников с ключевыми технологиями разработки и практического использования КТ имеет место серьезный разнобой в критериях отбора тренажеров как по их соответствию задачам обучения, так и по особенностям технической реализации.

Настоящая работа ставит целью познакомить потенциального пользователя с текущим состоянием и ведущими тенденциями развития КТ, которые необходимо учитывать уже сейчас, поскольку изменения информационных технологий и технических средств автоматизации стремительны, а серьезный тренажерный проект рассчитан минимум на 5...7 лет эффективной эксплуатации.

#### **Краткая характеристика целей компьютерного тренинга операторов**

Бурный рост нефтяного сектора экономики обострил проблему подготовки операторов, поскольку собственники вновь строящихся и реконструируемых

производственных мощностей не могут не задаваться вопросом, кто будет управлять их дорогостоящими технологическими установками [3] как в контексте ограниченных возможностей человека-оператора, так и с позиций промышленной безопасности и охраны окружающей среды. Немаловажен также экономический аспект, связанный с эффективностью управления ТП. Обоснованию использования КТ для решения этих проблем посвящена многочисленная литература; из русскоязычных источников укажем на работы [4, 5]. Так, по оценкам, полученным в работе [4] на основе мировой статистики аварий в нефтяной отрасли за 1965-1995 гг., на каждую тонну сырой нефти только на стадии переработки приходилось более 1 цента прямых потерь от некачественного управления оперативным персоналом, что составляет для среднего по размерам НПЗ более 1,1 млн. долл. США в год. Последние годы никак не притупили актуальность темы, особенно на фоне все удорожающегося производства и связанного с этим роста "цены" некачественного управления ТП. Достаточно в этой связи сослаться на свежий пример аварии на химическом предприятии в Тулузе 21 сентября 2001 г., унесшей жизни 29 человек и обошедшейся в 2 млрд. долл. [6].

КТ как средство преодоления такой негативной тенденции должны обеспечивать углубленный тренинг операторов сложных ТП в управлении установками, давая практический опыт оперирования в разнообразных ситуациях, включая:

- нормальные технологические условия при различных производительностях установок и свойствах сырья;
- нарушения технологических режимов и сбои в работе оборудования;
- плановые и аварийные остановы;
- переходы на новые технологические режимы.

Важно также обеспечить на основе КТ возможность оценки навыков и профессиональных умений операторов с целью их последующей тарификации и сертификации.

Общепризнанно, что КТ незаменимы для вновь строящихся и кардинально реконструируемых установок, однако и в условиях уже функционирующего глубоко автоматизированного технологического объекта тренажеры необходимы, чтобы в отсутствии аварийных ситуаций не позволить операторам утратить навыки управления.

Согласно современным исследованиям [7], некачественное управление ТП вызвано ненадлежащим выполнением процедур управления (их неполнотой, неточностью или излишней сложностью), а также ошибочной уверенностью операторов в превосходстве собственных приемов управления перед предоставляемыми. (Такая уверенность основана на опыте управления в нестандартных и аварийных ситуациях, часто фрагментарном и неоднозначном.) КТ, с одной стороны, позволяют операторам вырабатывать и практиковаться в правильных процедурах, а с дру-

гой – понять, как операторы выполняют процедуры, и тем самым совершенствовать их, например, разбивая на четкие последовательные этапы.

Известны также и побочные, хотя и немаловажные цели, достигаемые с помощью КТ, такие как:

- ознакомление операторов с работой системы управления вплоть до выработки навыков навигации и моторных навыков управления в среде РСУ;

- тестирование БД РСУ;

- разработка и проверка новых стратегий управления (настройка новых контуров, верификация алгоритмов программно-логического управления, анализ устойчивости и эффективности многосвязного и усовершенствованного управления);

- технологический инжиниринг (разработка и обкатка новых технологических режимов, расшивка "узких мест") и пр.

Очевидно, что эти цели достижимы, если тренажерную модель удастся поддерживать адекватной актуальному состоянию реального ТП.

### Три измерения КТ: функциональность, точность, масштабность

Растущее число отечественных тренажерных проектов ставит перед заказчиками во многом новую проблему определения требований к КТ. Как правило, выбор осуществляется по результатам тендерного конкурса, в котором могут участвовать весьма разные поставщики – по опыту, объему бизнеса, доступному ресурсу разработчиков, имеющимся средствам разработки и – как следствие – по свойствам предлагаемого продукта. (Заметим, что на зарубежных рынках с устоявшимися продуктовыми нишами эта разница существенно меньше.) Если добавить к этому, что запрашиваемые поставщиками цены могут различаться в разы, тендерные конкурсы часто напоминают выбор между мотоциклом и автомобилем<sup>2</sup>.

В отсутствии четкого понимания, что представляют собой и на что способны современные КТ, какие структурные варианты КТ возможны, нельзя определить, какие тренажеры нужны заказчику под конкретные задачи. Нет сомнения, что со временем к производителям придет необходимый опыт, как это на наших глазах произошло на рынке современных средств промышленной автоматизации (РСУ, SCADA, ПЛК). Пока же очень часто наблюдается настоящая путаница в различении базовых характеристик КТ, таких как функциональность, точность и масштабность. Эти характеристики отчасти действительно пересекаются, поскольку, например, высокая точность не может быть реализована вне определенного уровня масштабности и не может быть выявлена без

достаточного уровня функциональности. Тем не менее, между этими параметрами КТ существует и четкая разница, выявляемая ниже.

Отметим, что в принципиальном плане упомянутые характеристики можно связать с тремя обязательными компонентами КТ: функциональность – с набором инструкторских функций (модель обучения); точность – с полнотой, связностью и адекватностью тренажерной модели (модель ТП); масштабность – с полнотой и точностью реализации среды управления (информационная модель и модель системы управления).

### Функциональность КТ

Стандартная функциональность КТ подразумевает реализацию функций обучаемого оператора и инструктора тренинга.

Операторская функциональность должна воспроизводить реальные возможности оператора РСУ<sup>3</sup>, включая несвязанные с управлением и невостребованные в тренинге функции поддержки системы. Графический операторский интерфейс и даже функциональные клавиатуры РСУ должны с высокой степенью подобия соответствовать реальным.

Инструкторская функциональность должна обеспечивать все возможности для управления тренингом (инициализация моделирования из типовых начальных и специально создаваемых промежуточных состояний ТП; замораживание и перезапуск моделирования; настройка скорости моделирования; подключение нескольких операторских станций для реализации бригадного тренинга), для вмешательств инструктора в ход моделируемого ТП (инициализация нарушений режима, изменений внешних условий и поломки оборудования; инициализация сценариев развития нештатных ситуаций), для оценки действий операторов и успешности тренинга (тренды технологических параметров; мониторинг и оценка исполнения тренировочных задач), для анализа результатов и накопления методической базы тренинга (поддержание и фильтрация протокола событий; создание и хранение сценариев; создание и хранение "моментальных" снимков) и др.

Несмотря на свою очевидную необходимость, эти функциональные требования очень часто не выполняются разработчиками в должном объеме. Следует отметить, что ослабление описанной инструкторской функциональности ниже некоторого порога переводит предлагаемый "тренажер" из разряда КТ в более низкий класс продуктов. Известны случаи, когда в тендерном конкурсе участвовали системы, не поддерживающие функцию запоминания моментальных снимков моделируемого процесса. Такая функция

<sup>2</sup>В этом сравнении важно не то, что автомобиль обязательно лучше мотоцикла, а то, что в рамках четко заданных требований такой выбор не имеет смысла.

<sup>3</sup>В рассматриваемом классе КТ для сложных ТП тема тренажеров для объектов, не оснащенных РСУ, практически уже неактуальна. Что же касается типовых КТ, неориентированных на реальные установки, то в них требования к операторской функциональности значительно ниже, хотя и здесь принцип представления и переработки информации не должен противоречить тому, как это реально происходит в компьютеризированных системах управления ТП.

обеспечивает сохранение в произвольной момент времени полного динамического состояния модели, что дает возможность сохранять и инициализировать промежуточные состояния моделируемого процесса во время длительных стандартных процедур, воспроизводить возникающие в процессе обучения содержательные технологические ситуации, а следовательно, сравнивать различные варианты управления процессом. Столь же важна функция ускорения/замедления темпа работы тренажерной модели относительно реального темпа протекания ТП. Не все предлагаемые решения гарантируют такую возможность, хотя, как будет показано ниже, ее реализация может быть ограничена объективными обстоятельствами.

Более подробное обсуждение функциональности КТ представлено в [5].

#### Точность КТ

Эта характеристика КТ обычно вызывает наибольшее обсуждение. Что же можно считать высокоточным тренажером и чем определяется точность КТ?

Прежде всего, отметим, что хотя соответствие операторской среды управления реальной РСУ (человеко-машинный интерфейс, система управления) также может рассматриваться с точностной точки зрения, сам термин "точность", конечно же, прилагается к тренажерной модели ТП и предполагает наличие нескольких составляющих. Одна из них — *полнота* модели.

Ясно, что включение в модель абсолютно всей технологической схемы значительно удорожает тренажер и снижая скорость моделирования, может мало что добавлять к ее ценности для тренинга. Многие вспомогательные системы могут быть учтены в качестве граничных условий, при необходимости варьируемых инструктором. Технологические линии, не задействованные при нормальном функционировании, пуске или останове, также могут не моделироваться. Резервное или параллельно работающее оборудование может моделироваться упрощенно, некоторые элементы оборудования могут при моделировании объединяться в "пакеты".

В то же время при всех упрощениях модели важно учитывать объем воспроизведения в тренажере системы ПАЗ, для правильной работы которой необходимо обеспечить нужный объем моделирования переменных ТП. К тому же модель должна быть достаточно полной, чтобы были реализованы все технологические нарушения в работе оборудования и системы управления.

Еще одно требование к тренажерной модели — ее *связность*. Необходимо обеспечить расчет всей моделируемой технологической схемы, так чтобы изменения на любом ее участке отразилось на всей схеме в соответствии с реальными физико-химическими процессами, протекающими в моделируемом объек-

те. Искусственная изолированность отдельных частей ТП, еще свойственная некоторым отечественным разработкам и являющаяся следствием объективной сложности реализации КТ, недопустима.

Наконец, важнейшее точностное требование — *адекватность* статического и динамического поведения модели реальному ТП. Мировая практика указывает в качестве достижимой цели точность в  $\pm 5\%$  для критических и  $\pm 10\%$  для некритических параметров в статических режимах при обеспечении ускорения моделирования в пределах от двух до пяти<sup>4</sup>. Адекватность КТ в переходных динамических режимах более трудна для проверки и, как правило, оценивается экспертно на качественном уровне. Необходимым условием адекватности является также стабильность модели, под которой понимается принадлежность параметров модели (как внешних, так и внутренних) заранее заданному рабочему диапазону, без срывов и сбоев в вычислении.

Залог выполнения высоких требований по адекватности — в наличии у разработчика высокоразвитых средств моделирования ТП, основанных на проверенных методах фундаментального моделирования физико-химических процессов и надежных базах физико-химических свойств веществ. Серьезные производители КТ обладают также высокоавтоматизированными средствами создания моделей, помимо прочего повышающими эффективность разработки за счет перенесения основной части работ в область конфигурирования моделей из базовых элементов.

Наконец, отметим еще один существенный компонент, обеспечивающий адекватность тренажерной модели — возможность получения эксклюзивных технологических данных (часто имеющихся только у технологического лицензиара процесса), таких как параметры катализаторов и кинетические параметры реакций в конверсионных процессах нефтепереработки<sup>5</sup>. Возникают также ситуации, когда для адекватного воспроизведения ТП требуется специальное ПО (как, например, для моделирования многофазных потоков). Такие программы обычно разрабатываются специализированными производителями и могут интегрироваться в состав КТ.

#### Масштабность КТ

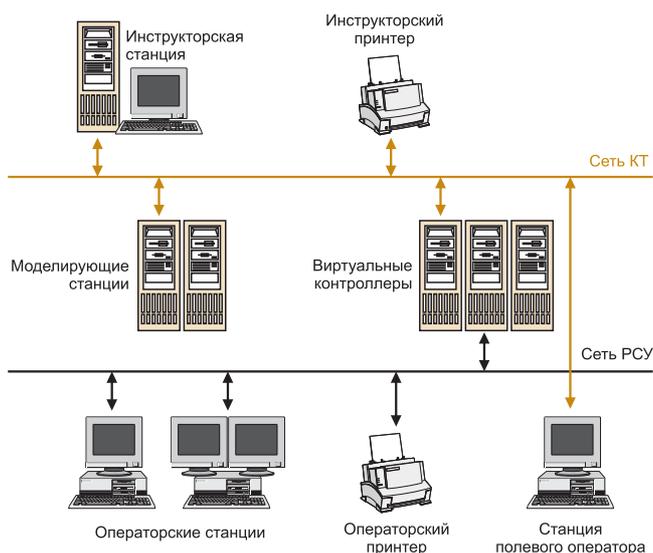
Этот фактор наиболее подвижен, напрямую отражая изменения в архитектуре реальных систем промышленной автоматизации.

Ключевая проблема технической реализации приемлемого уровня масштабности КТ может быть сформулирована так: эмуляция или стимуляция? Поясним эти термины, нечасто появляющиеся в русскоязычной литературе в исследуемом контексте.

В технологии имитационного моделирования и тренажеростроении термин *эмуляция* обозначает имита-

<sup>4</sup> Сравнение с атомной энергетикой, где требования к КТ после известной аварии на Три Мэйл Айлэнд (США) гораздо жестче и сам компьютерный тренинг строго предписан законодательно, дает  $\pm 2\%$  для критических и  $\pm 10\%$  для некритических параметров при ускорении до 10 раз [8].

<sup>5</sup> Недоступность такой информации может в свою очередь влиять и на полноту моделирования.



Принципиальная архитектурная схема КТ

цию работы программно-аппаратных комплексов исключительно искусственными средствами (с помощью физического или программного моделирования). Альтернативный метод, называемый *стимуляция*, означает такой вид имитации, при котором специально сгенерированные сигналы подаются на реальное аппаратное и/или ПО с целью стимулировать их отклик, необходимый для тренинга или инжиниринга.

На практике тренажеры, как правило, реализуются на базе частичной стимуляции и определить баланс глубины стимуляции и связанного с ней удорожания КТ — ключевой вопрос тренажерного проекта, решить который необходимо на самых ранних его стадиях.

Крайний случай полной эмуляции применим только для типовых КТ, имеющих, несомненно, свою продуктовую и коммерческую нишу, но совершенно не годится для сколько-нибудь серьезного тренажера сложной технологической установки. На рисунке представлена принципиальная структурная схема КТ, где на операторских станциях в случае полной эмуляции используется программно имитируемый интерфейс с определенной степенью подобия отражающий операторский интерфейс реальной РСУ, а работа контроллеров воспроизводится алгоритмически. Такой вариант привлекателен относительной дешевизной и независимостью КТ от других поставщиков программно-аппаратного обеспечения. Однако любые изменения в интерфейсах или контроллерах в этом случае означают практически полную переработку соответствующих частей тренажера, то есть сопряжены с серьезными затратами на сопровождение системы. Могут возникнуть также технические трудности по связи эмулируемых операторских станций с функциональными клавиатурами реальных РСУ.

Стимуляция предполагает полное или частичное использование в составе КТ программного и/или аппаратного обеспечения операторских рабочих станций РСУ, а также программного обеспечения разнообразных контроллеров, входящих в систему управления ус-

тановкой (базовые регуляторы, контроллеры ПАЗ, встроенные системы управления ротационным оборудованием, системы расширенного регулирования и усовершенствованного управления). Обеспечивая идентичность среды управления, стимуляция в то же время сопряжена с определенными трудностями технической и организационной реализации тренажерного проекта. Во-первых, возникает необходимость в дополнительном интерфейсе между КТ и элементами РСУ и контроллеров от других производителей. Во-вторых, возникающий при этом процесс взаимодействия с другими производителями затягивает, усложняет и, в конечном счете, удорожает тренажерный проект. Наконец, могут возникнуть технические ограничения реализации стимуляционного подхода, связанные с обеспечением ускорения моделирования; запоминанием "моментальных" снимков; "перемоткой" к предыдущим состояниям моделируемого технологического процесса; записью и инициализацией тренировочных упражнений при наличии управляющих последовательностей или других усложненных схем регулирования; записью тревожных сообщений и других событий на станции инструктора и др.

Очевидно также, что в аппаратно-программном отношении стимуляция дороже эмуляции.

На практике жизнеспособной является частичная стимуляция. Чаще всего она затрагивает наиболее подвижную часть системы — базу данных РСУ и систему базового регулирования. В то же время логические контроллеры, обычно включаемые поставщиками в ПЛК в виде закрытых алгоритмических пакетов, в течение жизненного цикла установки в меньшей степени подвержены изменениям и могут эмулироваться средствами КТ. Системы ПАЗ, хотя и изменяются чаще, обычно снабжены автоматизированными конверторами, упрощающими и удешевляющими их эмуляцию и сопровождение.

Собственно граница между эмуляцией и стимуляцией, проведенная на рисунке, и определяет степень масштабности КТ. Решение, где должна проходить эта граница, должно опираться на следующие соображения:

- реальное присутствие компонентов системы управления, требующих моделирования в КТ, и реальная ценность их более точного воспроизведения, исходя из целей обучения персонала;
- технические ограничения, возникающие при стимуляции этих компонентов;
- возможное удорожание проекта.

#### Основные тенденции развития КТ

Будущее КТ обеспечено структурой современного химико-технологического производства, в котором производственные активы стоимостью в миллиарды долларов контролируются все меньшим по численности персоналом, действующим из удаленных операторных. Альтернативы КТ как эффективному средству повышения безопасности и экономичности производ-

ства нет, что не означает беспроblemного существования тренажерного бизнеса, который должен адекватно отвечать на технические и экономические вызовы реального производства и систем промышленной автоматизации. Эти изменения очень динамичны и не всегда предсказуемы; можно, однако, попытаться указать на ключевые направления будущего развития КТ в увязке с вышепринятой шкалой их характеристик.

#### **Точность КТ – переход к инжиниринговым моделям**

Под инжиниринговыми понимают высокоточные физико-химические модели, используемые для технологического инжиниринга ТП (в основном – для расчетов на стадии проектирования). Их прямое использование в КТ ограничивается на настоящий момент как техническими возможностями тренажеров (например, недостатком вычислительного ресурса для точного расчета модели в ускоренном масштабе времени), так и уровнем развития самих инжиниринговых моделей. (Хорошо проработанные для разнообразных переходных процессов, эти модели не всегда отвечают требованиям полноты и связности для конкретных технологических объектов.) Представляется, что в ближайшие годы теоретические и прикладные достижения в динамическом моделировании и доступность для КТ еще более мощных вычислительных ресурсов позволит отойти от упрощений в тренажерных моделях и использовать инжиниринговые модели напрямую.

#### **Масштабность КТ – по пути к полной стимуляции**

Дальнейшая стандартизация и расширение совместимости компонентов систем управления производственными процессами разных производителей (PCU, SCADA-системы, ПЛК, APC-системы, логические контроллеры, ПАЗ-системы) позволят повысить полномасштабность КТ без неоправданного увеличения их цены. Уже сейчас основные производители PCU и ПЛК исполняют программное обеспечение операторского интерфейса и контроллеров в варианте автономных модулей, когда входные сигналы могут поступать, а выходные отправляться в направлении не только ТП, но и других агентов, в том числе КТ. Это будет облегчаться дальнейшим развитием таких программных инструментов и интерфейсов обмена данными, как OPC (OLE for Process Control) и CAPE-OPEN (Computer Aided Process Engineering Open Simulation), использующими среды коммуникации и синхронизации CORBA и DCOM. С программной точки зрения будущие тренажеры будут мало отличаться от реальных систем управления установками, доля эмуляции будет все больше сокращаться.

#### **Функциональность КТ – связь с ТП и поддержка оператора**

Несмотря на широкий набор функций, уже осуществленных в КТ, именно по этому параметру тренажеры ожидают наиболее важные усиления. Среди самых существенных отметим следующие.

<sup>6</sup> Действительно, все чаще компьютерный тренинг рассматривается как обучение навыкам по типу "выбросить из лодки" – благо, в "виртуальной" реке нельзя утонуть.

*Синхронизация тренажера и ТП.* Это позволит тренировать операторов в реальных режимах работы процесса, а также "проигрывать" в тренажере реальные нарушения в работе установки и отрабатывать верные действия по компенсации их нежелательных последствий. Уже сейчас такие возможности предоставляются некоторыми производителями КТ (например, система ProcessSync разработки корпорации Honeywell), однако необходимо предпринять еще много усилий, чтобы сделать эту опцию надежной для случая больших сложных ТП.

*Поддержка принятия операторских решений в процессе обучения.* Усиление методической составляющей тренинга в последние годы ощущается очень остро. Пользователи чувствуют разрыв между бурно растущими техническими возможностями КТ и их методическим обеспечением, малоизменившимся со времен "докомпьютерного" обучения. Более того, существует даже иллюзия, что совершенные по технической структуре и математической оснастке КТ вообще не нуждаются в особой методической поддержке<sup>6</sup>. Тем не менее, с когнитивной точки зрения, автоматизировать нужно уже выработанный и достаточно хороший по содержанию навык, для чего необходимы средства его предварительного формирования, а не только шлифовки (пусть даже в условиях очень близких к реальному ТП).

Преодолеть описанный разрыв можно по нескольким направлениям.

*А) Развитие специальных средств автоматизированного обучения.* Это касается как базовых навыков обнаружения отклонений от нормального хода ТП, прогнозирования его поведения, генерации возможных причин нарушений, так и комплексного умения диагностики нарушений, планирования и реализации компенсирующих процедур. О реализации некоторых таких систем в рамках КТ см. [9].

*В) Поддержка выполнения процедур в реальном времени.* Первые попытки в этом направлении уже реализуются в существующих КТ: это замедление моделирования для отработки сложных процедур управления; оценка правильности и эффективности выполнения процедур; система подсказок (пока – в основном – в режиме "of-line"). Дальнейшее продвижение будет связано с разработкой инструментов поддержки стратегий и процедур управления (вплоть до строгой регламентации, там где это возможно, требований к промежуточным состояниям ТП и оценки исполнения процедур в реальном времени [10]), а также с усилением функции информационной подсказки, в том числе в режиме "on-line" как по симптомам отклонений от нормы, так и по соответствию наблюдаемой симптоматики выбранной гипотезе о причине нарушений.

#### **Будущие КТ – для решения задач инжиниринга**

Вышесказанное касалось достижений других технологий, которые могли бы усилить КТ. В то же время и сами КТ могут помочь другому производственному персоналу в решении смежных инжиниринго-

вых задач. Так, полномасштабные высокоточные КТ позволят обрабатывать и оптимизировать эргономику операторских дисплеев; настраивать новые технологические режимы и оценивать их экономичность; проверять базы данных систем базового регулирования и логического управления; осуществлять инжиниринг усовершенствованных систем управления (предварительная проверка реакции объекта на ступенчатые воздействия, дизайн системы, предварительная оценка экономического эффекта, поддерживающие адекватности прогнозирующих моделей) и пр.

Превращение КТ в будущие "виртуальные заводы" – вполне реалистическая перспектива развития этого многопланового процесса.

### Заключение

КТ уже давно превратились в огромный бизнес по всему миру и начинают становиться таковым в России и странах бывшего СССР. Содержательный и, в конечном итоге, экономический успех любого тренажерного проекта определяется грамотным профессиональным взаимодействием поставщика КТ и специалистов Заказчика, отвечающих за подготовку персонала. В свою очередь это предполагает взаимодействие с другими поставщиками – технологическим лицензиаром ТП, инжиниринговым подрядчиком, производителями РСУ и ПЛК, а также со специалистами других служб предприятия – технологической, технической, служб метрологии и АСУТП, безопасности труда и экологической безопасности и др. Понимание потенциальным пользователем базовых положений устройства КТ, возможных различий в исполнении и ближайших тенденций их развития является абсолютно необ-

ходимой предпосылкой этого взаимодействия. Автор надеется, что настоящая работа будет полезным шагом в достижении такого понимания.

### Список литературы

1. Real-time Process Optimization and Training Worldwide Outlook. Market Analysis and Forecast through 2010 – ARC Advisory Group, 2006.
2. N. Haburd. Managing training simulator projects // Petroleum Technology Quarterly, 2006, Q4.
3. A. Shanel, Crabb, C. Who shall operate your plant? // Chemical Engineering, 1999, 106, No.2.
4. Дозорцев В.М., Шестаков Н.В. Компьютерные тренажеры для производств химико-технологического типа: полезность, эффективность, окупаемость // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1997. № 7.
5. Дозорцев В.М. Обучение операторов технологических процессов на базе компьютерных тренажеров // Приборы и системы управления. 1999. №8.
6. Dechy, N. et al. First lessons of the Toulouse ammonium nitrate disaster, 21st september 2001, AZF plant, France // Journal of Hazardous Materials, 2004.
7. Park, J., W. Jung. The operators' non-compliance behavior to conduct emergency operating procedures-comparing with the work experience and the complexity of procedural steps // Reliability engineering and system safety, 2003.
8. Sheltout, Z. et al. Capture the long-term benefits of operator training simulators // Hydrocarbon Processing, 2007, 86, No. 4.
9. Дозорцев В.М. Психологические проблемы компьютерного тренинга операторов технологических процессов // В сб. "Человеческий фактор в управлении". М.: КомКнига, 2006.
10. Кулида Е.Л. Об одном подходе к реализации тренировочных упражнений в компьютерном тренажерном комплексе // Проблемы управления (в печати).

*Дозорцев Виктор Михайлович – д-р техн. наук, руководитель Отдела компьютерного обучения ЗАО "Хоневелл".*

*Контактный телефон (495) 334-87-71. E-mail: victor.dozortsev@honeywell.com*

### ОС РВ LynxOS-178 выбрана для создания европейской системы спутниковой навигации Galileo

Компания LynuxWorks (www.lynuxworks.com), мировой лидер в области встраиваемого ПО, объявила, что ОС РВ LynxOS-178 будет использоваться в перспективной европейской спутниковой навигационной системе Galileo. Эта система глобального позиционирования станет аналогом американской GPS и российской ГЛОНАСС и позволит с точностью менее 1 метра определять местоположение и скорость объекта в любой точке земного шара. Участие компании LynuxWorks в проекте, реализуемом Европейским космическим агентством, является знаковым событием как для аэрокосмической отрасли, так и для рынка встраиваемого ПО.

Беспрецедентная поддержка открытых стандартов, высокая надежность и совместимость с процессорными архитектурами PowerPC и Pentium (эти архитектуры планируется использовать в Galileo) стали решающими факторами, повлиявшими на выбор LynxOS-178 компании LynuxWorks в качестве ключевого компонента базовой коммуникационной платформы системы Galileo, которая будет состоять из глобальной сети наземных станций и 30 спутников.

LynxOS-178 обладает максимальной открытостью из всех существующих платформ для разработки ответственных систем. Кроме того, в ОС РВ LynxOS-178 нашла свое воплощение долгосрочная стратегия компании LynuxWorks в части использования открытых стандартов – LynxOS-178 удовлетворяет требованиям POSIX, спецификации ARINC 653 и полностью поддерживает приложения C++.

В США и Европе ПО для специальных систем воздушного и наземного базирования обязано удовлетворять стандартам

RTCA/DO-178B, RTCA/DO-278, EUROCAE ED-12B, и LynxOS-178 полностью соответствует требованиям данных стандартов.

Применение LynxOS-178 – прямой путь к ускоренному получению необходимых сертификатов на ПО для ответственных систем. ОС РВ LynxOS-178 – это первая и единственная в мире ОС РВ, получившая сертификат "Программное обеспечение многократного применения" (RSC – Reusable Software Component) Федеральной администрации по авиации США (FAA), который позволяет использовать в новых проектах те программные компоненты, которые уже были сертифицированы ранее. Благодаря применению LynxOS-178 разработчики могут выводить свои ответственные приложения на рынок с меньшими рисками и в сжатые сроки.

Программное обеспечение LynuxWorks используется в целом ряде специальных программ, включая инициативу Network Centric Operations Министерства обороны США, сеть лазерной дальнометрии SLR (Satellite Laser Ranging) NASA, спектрометры AVIRIS (Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer) лаборатории JPL, новые радары BBC США и др.

Выбор ОС РВ LynxOS-178 для европейской системы спутниковой навигации Galileo является закономерным следствием лидерства компании LynuxWorks на рынке встраиваемого ПО реального времени, подкрепленного двадцатью годами инноваций.

Стратегическим партнером LynuxWorks в России и странах СНГ является ЗАО "РТСофт".

[Http://www.rtsoft.ru](http://www.rtsoft.ru)