

## ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ВЫБОРА И ВНЕДРЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Т.В. Жук (ООО «Июкогава Электрик СНГ»), Рыжов Д.А. (КНИТУ),  
Л.Т. Галявиев, А.И. Шигапов (ООО «Июкогава Электрик СНГ»)

*Сформулированы основные требования, предъявляемые к тренажерам оператора, нацеленным на обучение персонала, и оптимизацию непрерывных ТП. Приведена типовая структурная схема тренажерного комплекса. Описаны рекомендации по выбору и внедрению тренажерных комплексов.*

*Ключевые слова: тренажерный комплекс, нефтехимические производства, точность, математическая модель, интерфейс оператора, 3D.*

Современная промышленность характеризуется высоким темпом совершенствования оборудования и развития технических средств, делая их более эффективными и производительными, но вместе с тем более сложными с точки зрения освоения и управления. Последнее требует от инженерно-технических специалистов все больше знаний и практических навыков, и как следствие, показатели эксплуатационной эффективности и безопасности напрямую зависят от компетентности инженерно-технического персонала.

По некоторым исследованиям до 20% ошибок, совершаемых операторами, происходит по причине плохого усвоения визуальных и механических характеристик системы управления. Поэтому обеспечение такого уровня наработки верных действий, при котором манипулирование определенными элементами системы осуществляется на автоматизме, является неотъемлемым требованием к системе обучения персонала установки. Недопустимо, чтобы у человека закрепились в памяти неверные алгоритмы действия, способы манипуляции, визуальная картинка происходящего и пр. [1]

В свою очередь, современная АСУТП представляет собой сложный программно-аппаратный комплекс, включающий множество компонентов, таких как полевые устройства, датчики, контроллеры, станции операторов, серверы и т.д. При этом сложность системы и множество выполняемых ею функций предъявляют все более высокие требования к квалификации оператора, соответственно больше времени требуется для его подготовки. Зачастую полный цикл обучения старшего оператора может занимать до 5...10 лет.

Решением данной проблемы является использование специальных компьютерных тренажеров, которые нацелены на сокращение разрыва между имеющимися и требуемыми навыками персонала. Причем в настоящее время наблюдается повышение требований к надежности и эффективности тренажерных комплексов.

В отличие от тренажеров в других отраслях промышленности (авиационной, железнодорожной, автомобильной и электроэнергетической), в тренажерах для управления непрерывными ТП необходимо предусматривать ряд характерных особенностей:

- оператор, как правило, находится на удаленном расстоянии от объекта и не имеет возможности физически или визуально контролировать его;

- установки перерабатывающей промышленности характеризуются большим числом параметров, подлежащих контролю, что, помимо очевидных объемов контролируемых действий, усложняет оператору задачу выявления взаимовлияния между различными параметрами процессов;

- многообразие физико-химических процессов, протекающих на установках, обуславливает большое число быстропротекающих превращений, динамику которых бывает тяжело контролировать.

На сегодняшний день тренажеры для обучения технологического персонала нефтехимических производств находят все более широкое применение. Обычно это связывают с введением требований Ростехнадзора по обеспечению безопасности эксплуатации (Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. 2013 г.). Однако существует ряд дополнительных факторов, способствующих активизации использования тренажерных комплексов. К ним относятся несовершенство методик проведения диагностики, увеличение объемов устаревшего оборудования, усложнение ТП, а также ужесточение требований к конечным продуктам. Все эти факторы влекут за собой повышенную опасность возникновения аварий и усложнение поиска оптимального режима работы.

Одновременно растет число предприятий, стремящихся найти оптимальные технологические решения для достижения максимальной эффективности эксплуатации. В этой связи средства моделирования, входящие в основу тренажерных комплексов, приобретают новую роль и используются не только как инструменты обучения, но и в качестве платформы поиска решений по повышению экономической прибыльности установок, прогнозирования эксплуатационных условий, а также сокращения потерь продукта. По некоторым данным, объем потерь по причине одних только технологических инцидентов обычно составляет около 5% от годового объема производимой продукции. Более того, реализация комплексной программы операционных улучшений на НПЗ позволяет увеличить показатель EBITDA на баррель переработанной нефти на 2...3 долл. США,

что может составить около 150...200 млн. долл. США в год для НПЗ с мощностью переработки 10 млн. т [2].

Соответственно, так как выгода от использования ПО обратно пропорциональна числу «белых пятен», не охватываемых моделью, возможностей тренажерного комплекса должно быть достаточно для проведения детального анализа ТП на предмет оптимизации в различных направлениях.

Таким образом, несмотря на более высокую стоимость, высоко функциональный тренажерный комплекс будет иметь более короткий срок окупаемости при его полноценном использовании.

Следует указать основные требования, предъявляемые к тренажерам оператора, нацеленным не только на обучение персонала, но и на оптимизацию процессов.

1. Тренажер должен максимально точно копировать внешние характеристики средств управления, иметь схожий с реальной АСУТП интерфейс оператора.

Обычно АРМ оператора состоит из средств, обеспечивающих взаимодействие человека с компьютером (клавиатуры и мыши) и средств получения информации о процессе путем вывода ее на экран монитора, принтер, динамики и пр. Причем промышленное исполнение данных устройств имеет свою специфику и сильно зависит от концепций, принятых у каждого производителя. Для максимального приближения к действующим на установке условиям должна быть предусмотрена возможность включать в состав тренажерного комплекса оборудование и средства управления, идентичные используемому на эксплуатируемом объекте. Данное условие необходимо для выработки моторных навыков у операторов и минимизации вероятности совершения ошибок во время срабатывания аварийных сигнализаций по причине необходимости оперативного определения расположения требуемых диалоговых окон ПО и устройств управления.

2. Точность лежащей в основе тренажерного комплекса модели.

Несмотря на значимость аппаратного обеспечения, по статистике основная часть совершаемых операторами ошибок связана с неверным пониманием происходящих на технологических установках изменений (38% — аналитические ошибки, 41% — информационные).

Понятно, что точность расчета не должна существенно изменяться при использовании различных исходных данных. Неточные результаты расчета технологии процесса могут привести к тому, что технологи и операторы будут иметь ложное представление о технологических режимах, что, как следствие, приведет к снижению качества продукта и уменьшению производительности. Более того, при отклонении от технологических режимов оператор может получить неверное представление о вероятных последствиях изменений и неверно растолковывать ситуацию, совершая ошибки в предпринимаемых действиях [3].

Таким образом, точность технологического расчета напрямую влияет на уровень получаемого персоналом обучения, которое, в свою очередь, напрямую влияет на качество управления процессом. Кроме того, при точном построении моделей установок пользователь получает возможность использовать их не только для обучения, но и для оптимизации ТП на предмет эксплуатационных затрат, анализа альтернативных эксплуатационных решений, сценариев развития аварийных ситуаций, различных рабочих условий, проведения анализов типа «что, если» и т. д.

Математическая модель должна, в том числе точно воспроизводить гидравлические свойства оборудования и сред, а также временные зависимости технологических параметров друг от друга.

Как и в случае со статической моделью, точность, с которой модель способна прогнозировать динамику процесса, не должна сильно варьироваться при моделировании различных сценариев эксплуатации. Это необходимо, чтобы человек, использующий модель для обучения, мог получить достоверные данные о реальных скоростях реагирования параметров на возмущения, изменениях, следующих за данными событиями, и отработать определенную последовательность действий. В противном случае оператор будет иметь неверное представление о безопасных режимах эксплуатации не только отдельного оборудования установки, но ТП в целом, что может иметь дорогостоящие последствия. Кроме того, у оператора могут сформироваться ложные навыки управления установкой, что, в свою очередь, окажет влияние не только на экономические показатели работы, но и на уровень безопасности.

Указанные выше особенности математических моделей формируют жесткие требования к математическому аппарату, составляющему основу тренажерного комплекса. Для удовлетворения данным требованиям программный продукт должен обладать большой базой свойств химических компонентов и их смесей, коэффициентов взаимодействия, методик расчета химического и термодинамического равновесия и пр. для обеспечения требуемой точности расчета. Так, ошибка в расчете, например, вязкости или плотности, может привести к неверным расчетам гидросопротивления, теплообмена и др., а следовательно оператор будет иметь некорректные данные о реальных значениях давления, температуры и других параметров технологической установки.

Кроме того, само оборудование должно быть отобрано в модели с достаточной степенью достоверности. Программное обеспечение должно быть достаточно гибким и позволять учесть конструктивные особенности всех основных машин и аппаратов установки. Для этого он должен обладать функциональностью для внесения корректировок в данные параметры, так как калибровка является обязательным этапом при построении модели и необходима для достижения максимального сходства между расчетными и фактическими параметрами.

3. Другой важной частью тренажерного комплекса является ПО для моделирования средств и систем управления, причем разные технологические установки могут использовать АСУТП разных поставщиков. Для обеспечения соответствия тренажерного комплекса реальной АСУТП лучшей практикой является использование существующего ПО данной системы управления. Однако это не всегда представляется возможным, поэтому тренажерный комплекс должен позволять проводить работы по эмулированию логики РСУ и ПАЗ [4].

Представляя собой определенную форму инвестиций, тренажерный комплекс должен обладать высокой окупаемостью, которая достигается с помощью максимально эффективного использования ПО после его приобретения. Таким образом, для обеспечения максимального эффекта от внедрения тренажера оператора при минимальных вложениях данная система должна обеспечивать широкие возможности не только по обучению технологического персонала, но и решению инженерных задач по оптимизации и исследованию ТП и АСУТП.

Так, эффективность обучения снижается, если заказчик ограничен заранее определенной конфигурацией модели и строго оговоренными сценариями без возможности их корректировки. Протестировать работу установки при любых, даже малейших изменениях, произошедших с оборудованием или технологическими условиями эксплуатации, в таком случае становится невозможным, а затраты на актуализацию моделей существенно увеличиваются. Поэтому рекомендуется, чтобы для эксплуатаций ПО использовались интеллектуально понятные интерфейсы, и обученные пользователи могли самостоятельно изменять

модели процессов. Также тренажер должен позволять использовать конфигурационные файлы действующей на объекте АСУТП, чтобы избежать необходимости переконфигурирования логических модулей комплекса при изменениях в ПО системы управления.

Тренажерный комплекс должен быть распределен на несколько станций операторов для одновременного обучения группы специалистов. Кроме того, важным моментом с точки зрения экономии человеческих и машинных ресурсов является возможность тренировки нескольких операторов в один момент времени на разных моделях установок.

Для сокращения времени работы инструктора система должна поддерживать не только воспроизведение возмущений, создаваемых обучающим, но и автоматические режимы с использованием заранее сформированных сценариев. Все данные о действиях операторов и оценка их корректности должны сохраняться в автоматическом режиме и при необходимости выводиться в качестве отчетов.

Гибкость в использовании тренажерного комплекса снижается, если прикладное ПО не запускается на стандартном серийном машинном оборудовании с установленным на нем наиболее часто используемым общесистемным ПО.

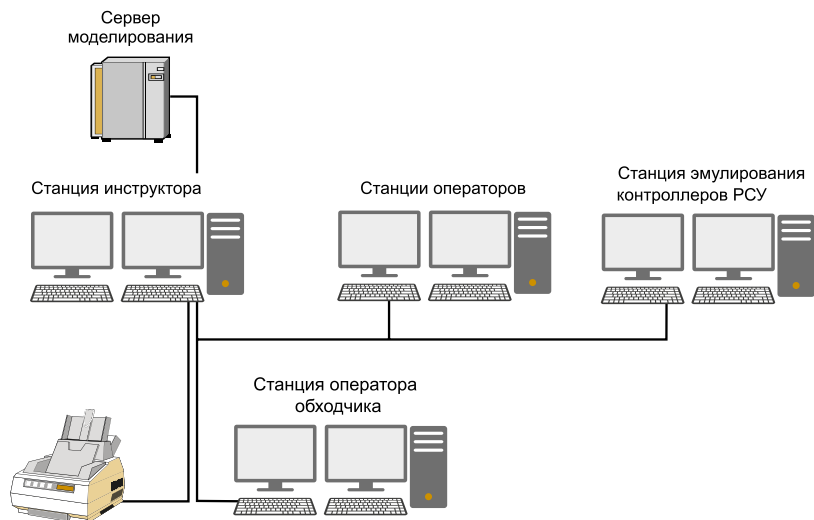
Рынок тренажеров оператора в настоящее время довольно развит. В России на нем представлены как ведущие мировые поставщики, так и развивающиеся российские компании. Однако общая структура тренажерного решения является типовой. Обобщенный вариант комплекса технических средств компьютерного тренажера представлен на рисунке.

Типовая схема компьютерного тренажера состоит из станций для моделирования ТП, станций симуляции контроллеров РСУ и ПАЗ, АРМ обучаемых, станции инструктора и АРМ оператора-обходчика. Часто некоторые программные модули совмещают на одной станции с целью сокращения необходимого числа машин.

Основу тренажерного комплекса составляет модель ТП. Именно она позволяет заменить существующий технологический объект и проводить обучение персонала на его математической копии.

Станция инструктора служит для создания и редактирования сценариев обучения, с нее происходит управление процессом стажировки с одновременным контролем результатов операторов.

Рабочее место оператора отображает информацию об установке, включая параметры ТП и оборудования, получаемую из математических моделей. Место оператора-обходчика служит для обучения действиям с полевыми устройствами, не вошедшими в состав системы управления и управляемыми вручную.



- Сервер моделирования – содержит программное обеспечение, в котором разрабатывается модель технологического процесса;
- Станция инструктора – служит для создания и редактирования упражнений обучения, с нее происходит управление процессом стажировки с одновременным контролем результатов операторов;
- Станция эмулирования контроллеров РСУ/ПАЗ – служит для осуществления функций инжиниринга РСУ и ПАЗ АСУТП;
- Станции операторов – имитируют рабочее место оператора АСУТП;
- Станция оператора-обходчика – для обучения действиям с полевыми устройствами, не вошедшими в состав системы управления и управляемыми вручную.

Типовая структура тренажерного комплекса

Эти станции используются обучаемыми для наработки навыков по управлению процессами по месту [5].

Тем не менее, при внешнем единообразии тренажерных структур нельзя сказать, что существенных отличий в решениях разных поставщиков нет.

Основные отличия компьютерных тренажеров заключаются в реализации математической модели ТП и функций систем управления. Зачастую многие поставщики реализуют математические модели компьютерных тренажеров в формате не редактируемых исполняемых файлов — так называемый эмуляционный подход. Данный аспект объясняет относительно невысокую стоимость решений, но делает невозможным редактирование модели пользователем, а также уменьшает степень подобия статических и динамических элементов мнемосхем, в том числе сигнализаций. Кроме того, использование такого подхода может привести к несоответствию эмулированных и актуальных алгоритмов управления, трудностям в обеспечении устойчивой работы компьютерных тренажерных комплексов и синхронизации приложений тренажера по временным меткам и др.

Обозначенные технические сложности могут существенно затруднять реализацию и модернизацию тренажеров, особенно для вновь вводимых производств, а также его дальнейшее сопровождение и поддержание в актуализированном состоянии на протяжении всего периода эксплуатации.

Другой тип тренажерной структуры — модели, полученные путем симуляции. Этот метод использует ПО системы управления и зарекомендовавшие себя инструменты моделирования ТП. К достоинствам данного типа тренажеров можно отнести максимальную идентичность интерфейса и логики управления, используемых на реальном объекте и в тренажере, а также простоту внесения изменений в модель и функции управления путем переноса их из проекта РСУ в тренажерный комплекс.

В силу описанных выше особенностей конфигураций тренажерных комплексов становится понятно, что не все из них полностью соответствуют требованиям максимальной гибкости и эффективности. Это можно объяснить рядом причин: стремлением поставщиков снизить себестоимость продукта за счет сокращения возможностей, отсутствием у производителей собственного ПО для конфигурирования логики управления АСУТП, недостатком технологической базы для создания детальных термодинамических моделей и др.

Несмотря на то, что в отдельных случаях, требующих применения решений нижнего ценового сегмента, использование упрощенных тренажерных комплексов может выглядеть целесообразным, нельзя пренебрегать их недостатками во время принятия

решений. Зачастую критерием выбора тренажерного комплекса является объем инвестиций на обучение персонала, в то время как совокупность функций качественного тренажерного комплекса позволяет решать задачи, отвечающие другим разделам инвестиционной программы предприятия.

Кроме того, необходимо помнить, что передовые мировые компании уже совершили дальнейшие шаги в совершенствовании систем обучения персонала. Так, многие из них оснащают свои учебные комплексы системами 3D реальности, позволяющими с максимальным приближением к действительности отработать как штатные операции, проводимые на аппаратном дворе, так и действия по плану ликвидации аварийных ситуаций.

Другой пример совершенствования методик обучения персонала — это использование термодинамической модели установки для прогнозирования работы объекта на базе интеграции математической модели ТП с реальной системой управления. Такая модель позволяет определить неисправности в работе установки по расхождениям между рассчитываемыми результатами модели и фактическими данными из РСУ, а также решать задачи оптимизации производства в режиме on-line. Такой подход набирает все большую популярность благодаря сочетанию точности математического описания химико-технологических процессов с возможностью интерактивного интерфейса с установкой при ее исследовании.

Таким образом, все больше компаний рассматривают обучение персонала как вклад в будущую высокую эффективность эксплуатации. Несколько более высокая стоимость специализированного тренажерного комплекса в данном случае оказывается незначительной на фоне выгод, получаемых при правильном и полном использовании тренажерного программного обеспечения.

#### Список литературы

1. *Элстон Х., Поттер Д.* Применение тренажеров для обучения операторов технологических установок НПЗ // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. 1989. №12. С. 112 - 115.
2. *Пирожков А.* Успех улучшений в российской переработке // Вестник McKinsey. 2011. № 24.
3. *Карманов В.Г.* Математическое моделирование. М.: Наука, 1988. 288 с.
4. *Андреев Е.Б., Попадько В.Е.* Программные средства систем управления ТП в нефтяной и газовой промышленности. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2005.
5. *Дозорцев В.М.* Динамическое моделирование в оптимальном управлении и автоматизированном обучении операторов технологических процессов. Ч.2. Компьютерные тренажеры реального времени // Приборы и системы управления. 1996. № 8.

*Рыжов Денис Александрович — канд. техн. наук, доцент Казанского Национального исследовательского технологического университета,*

*Жук Татьяна Владимировна — инженер поддержки продаж высокотехнологичных решений,*

*Галявиев Ленар Тальгатович — руководитель проектов по компьютерным тренажерным комплексам,*

*Шигапов Айрат Ильдусович — ведущий инженер-технолог ООО «Йокогава Электрик СНГ».*

*Контактный телефон (495) 737-78-68.*

*E-mail: info@ru.yokogawa.com*