

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ И АТТЕСТАЦИИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА, ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Ахметшин А.И.<sup>1</sup>, Даринцев О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО Уфаоргсинтез, г. Уфа, Россия (450037, Уфа, Промплощадка Уфаоргсинтез), e-mail: aiakhmetshin@gmail.com

<sup>2</sup>Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН, г. Уфа, Россия (450054, Уфа, проспект Октября, 71), e-mail: ovd@uimech.org

---

Проведен анализ состояния современных тренажерных комплексов, предназначенных для подготовки и аттестации оперативного персонала, обслуживающего технологические процессы. Представлена обобщенная архитектура компьютерного тренажерного комплекса, также описано структурное разделение уровней тренажерного комплекса. Рассмотрены методы модельного наполнения компьютерных тренажеров. В качестве примеров представлены компьютерные тренажеры, применяющиеся в химической и нефтехимической отраслях. В результате анализа статистики, представленной Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору по различным объектам производственной деятельности; достоинств и недостатков современного тренажеростроения; существующих федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, сформулированы основные требования к проектированию компьютерных тренажерных комплексов. Для построения компьютерных тренажеров предлагается использовать новые структурные принципы и математические методы моделирования технологических процессов.

---

Ключевые слова: тренажерные комплексы, моделирование технологических процессов, компьютерные тренажеры.

## THE COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERN TRAINING COMPLEXES IN SYSTEM OF PREPARATION AND CERTIFICATION OF THE OPERATION PERSONNEL SERVING TECHNOLOGICAL PROCESSES

Ahmetshin A.I.<sup>1</sup>, Darintsev O.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>OAO Ufaorgsintez, Ufa, Russia (450037, Ufa, promploshadka Ufaorgsintez), e-mail: eagleart@yandex.ru

<sup>2</sup>Institute of Mechanics Ufa Branch of RAS, Ufa, Russia (450054, Ufa, prospect Oktyabrya, 71), e-mail: ovd@uimech.org

---

The analysis of modern simulator complexes intended for training and certification of technological process personnel is carried out. A generalized architecture of computer-based simulator complex is presented, and the structural separation of simulator complex levels is described. The methods of model filling of computer simulators are considered. As examples, the computer simulators, used in the chemical and petrochemical industries are presented. The main requirements for the design of computer simulators are shaped upon the analysis of the statistics provided by the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision on various industrial facilities as well as the advantages and disadvantages of modern simulators and the existing federal rules and regulations in the field of industrial safety. To construct computer simulators new structural principles and mathematical modeling techniques of technological processes are encouraged to use.

---

Keywords: simulator complexes, technological processes modeling, computer simulators.

В настоящее время представить эксплуатацию химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств без автоматизированных систем управления практически невозможно, при этом практически все системы являются распределенными и многоуровневыми. Поэтому возникает необходимость разработки и внедрения на производствах специальных комплексов для контроля (аттестации), оперативного обучения

и закрепления полученных навыков для высококвалифицированного персонала, занятого в управлении сложноорганизованными процессами.

Анализ инцидентов на различных производственных объектах, подконтрольных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, в период с 2004 по 2012 г. показывает, что нарушение правил технического обслуживания, а также нарушение технологического режима являются причиной 21,1 % от общего количества произошедших аварий [1]. Как правило, эти причины являются следствием некорректных действий обслуживающего производственные объекты персонала во время аварийных ситуаций, при пусках, остановах, при производстве плановых переключений и других воздействий на управляемое оборудование. Частоту ошибочных действий персонала можно оценить как обратно пропорциональную его навыкам управления оборудованием и готовности к действиям в различных ситуациях. Поскольку возможность обучения и переподготовки оперативного персонала на действующих установках практически отсутствует, возникает необходимость создания специализированных тренажерных комплексов и автоматизированных систем обучения. Отсутствие тренажерной подготовки персонала к работе в штатных, внештатных или аварийных ситуациях технологического оборудования может привести, в ряде случаев, к серьезным авариям, а иногда и к техногенным катастрофам.

В РФ применение компьютерных тренажерных комплексов (ТК) для подготовки рабочих и инженерно-технических работников, непосредственно занятых ведением технологического процесса и эксплуатацией оборудования на этих объектах, регламентируется федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» от 11.03.2013 [5], которые регламентируют общие требования. Однако практика эксплуатации производственных объектов и недостаточная квалификация технологического персонала «диктуют» формирование более точных, конкретных формулировок требований к проектированию компьютерных ТК, учитывающих специфику применения.

### **Архитектура современного компьютерного тренажера**

Крупнейшие российские (Нефтеавтоматика, Техностандарт, Омegasистем) и международные (*Honeywell*, *Yokogawa*) организации, занимающие лидирующие позиции в области промышленной автоматизации, также разрабатывают различные компьютерные ТК. Среди сложившихся подходов к их проектированию можно выделить следующую обобщенную архитектуру (рис.1).

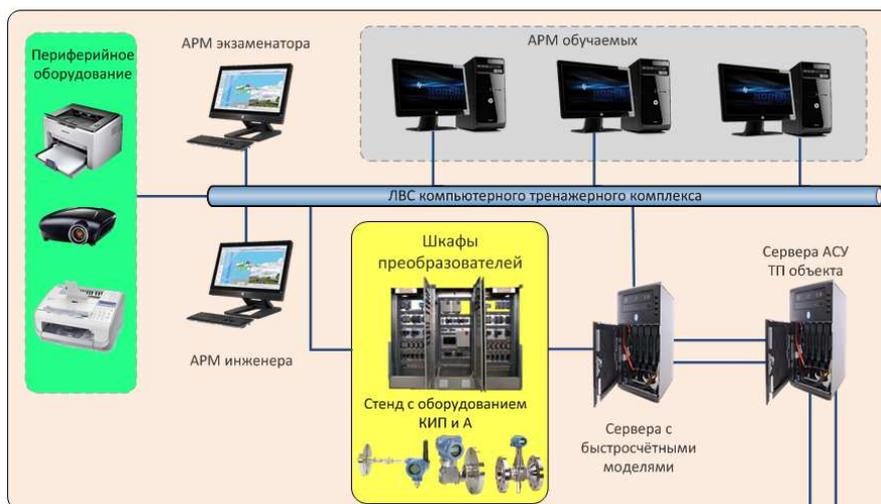


Рис.1. Архитектура компьютерного ТК

Компьютерный ТК для подготовки операторов автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) представляет собой сложный программно-технический комплекс. Как и стандартную АСУ ТП, компьютерный ТК можно условно разделить на три уровня: нижний, средний и верхний. Нижним уровнем архитектуры, представленной на рис.1, является стенд с контрольно-измерительными приборами и средствами автоматики (КИПиА), шкафы преобразователей, предназначенные для изучения принципов работы, конфигурирования и решения учебных задач по обнаружению неисправностей. Сервера АСУ ТП реального объекта в данном случае служат для аккумуляции и передачи данных действующего технологического объекта на сервера ТК с целью их дальнейшей обработки. Средним уровнем и одновременно ядром всего компьютерного ТК являются сервера с прикладным программным обеспечением (ПО), содержащим быстросчетные математические модели реальных технологических объектов. Степень детализации модельного наполнения, а также методы моделирования выбираются с учетом необходимых для целей обучения точности, адекватности параметров процессов применительно к режимам нормального функционирования и внештатным ситуациям. К верхнему уровню компьютерного ТК относятся автоматизированные рабочие места (АРМ) обучаемых, АРМ экзаменатора и АРМ инженера. В состав АРМ обучаемых входит ПО, аналогичное установленному на реальных рабочих местах диспетчерских пунктов, что позволяет сотрудникам, проходящим первоначальную или повторную подготовку, избежать проблем с эксплуатацией действующей установки. АРМ экзаменатора предоставляет возможность отследить всю последовательность действий обучаемого, а также сформировать отчет о выполненных комплексах обучающих программ. АРМ инженера служит в качестве администрирующего звена всего тренажерного комплекса и позволяет конфигурировать все уровни системы.

## **Модельное наполнение компьютерных тренажеров**

В основе любого современного компьютерного тренажера лежат математические модели, позволяющие дать полное, либо частичное представление о параметрах и состоянии реального технологического процесса. Пользователям предоставляется возможность с разной степенью точности моделировать реальные характеристики технологических узлов, аппаратов с учетом их конструктивных особенностей, а также условий эксплуатации. Типовое модельное наполнение компьютерных тренажеров реализуется с использованием статических или динамических математических моделей реального технологического процесса.

Компьютерные ТК, использующие статические математические модели, основываются, как правило, на известных характеристиках объекта, режимах работы технологического процесса. Источником данных для моделирования являются непосредственно действующие объекты. Модель в целом строится как программный комплекс, который воспроизводит известные режимы и процессы объекта без учета временных характеристик. Таким образом, в модель загружаются варианты набора параметров, соответствующих реальной работе технологического объекта в различных режимах, т.е. происходит увязка выходных воздействий реальной системы с входными переменными.

Подготовка проводится по нескольким основным сценариям. Обучаемые, получив задание преподавателя, имитируют штатными средствами АРМ управляющие воздействия для изменения режима работы технологического процесса (ТП), в том числе выход на заданный режим работы оборудования. Полученные команды на пуск/останов насосов, изменение оборотов насоса, уставок регулирующей арматуры и т.п. обрабатываются в соответствующей модели для расчета «поведения» в рабочем режиме. Первоначально обучаемый персонал наблюдает за работой ТП в штатном режиме. Затем преподаватель имитирует внештатные и аварийные ситуации, вводя «возмущающие воздействия» в соответствии с проработанными программами обучения. Учебно-тренировочные задачи предусматривают различные сценарии, разрабатываемые по регламенту ТП и включающие в себя определенный набор, а также порядок отрабатываемых действий. Обычно действия операторов описываются наборами жестких алгоритмов действий, соответствующих каждой из возможных ситуаций. Уровень навыков по различным алгоритмам поддерживается одинаковым для всех алгоритмов. Но, как показывает практика, у руководителей занятий неизбежно возникают наборы «любимых» алгоритмов, которые отрабатываются операторами необоснованно чаще других. Частично ликвидировать данные недостатки позволяет жесткое планирование времени (либо количества циклов) отработки различных алгоритмов. Но в этом случае исключаются индивидуализация процесса практической

подготовки операторов и учет реального уровня навыков конкретных операторов в отработке конкретных алгоритмов.

К достоинствам модельного наполнения компьютерного ТК статическими моделями технологических процессов, узлов и агрегатов можно отнести:

- простоту моделирования ТП;
- относительную дешевизну моделирования;
- применимость к простым технологическим процессам.

Этому подходу свойственны и существенные недостатки:

- низкая точность;
- аппроксимация моделей реальных агрегатов;
- отсутствие возможности создания ТК на вновь проектируемых установках, ТП;
- недостаточное описание состояний реальных объектов;
- отсутствие возможности оптимизации процесса;
- низкая достоверность данных процесса.

В качестве примера можно представить тренажер «Компьютерный технологический тренажер (КТТ) производства полиэтилентерефталата», разработанный для ОАО «Полиэф» организацией «Техностандарт» в сентябре 2013 г. (рис. 2) [2].

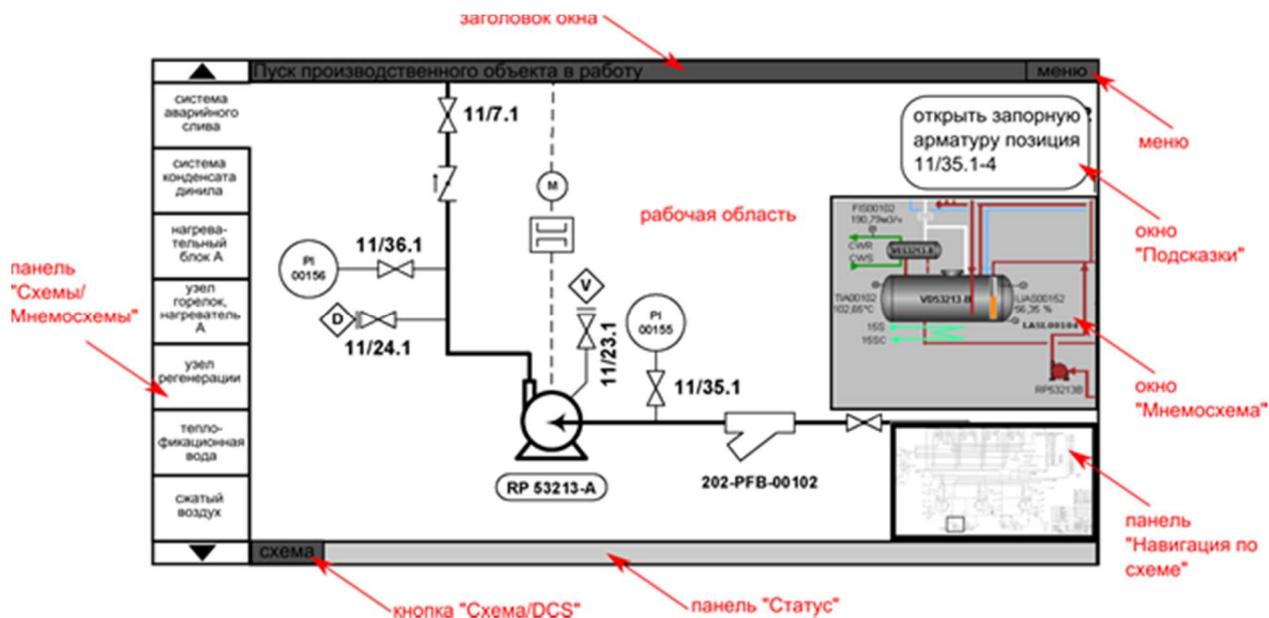


Рис. 2. КТТ производства полиэтилентерефталата

В связи с вышеперечисленными недостатками методов статического моделирования реальных технологических объектов возникает необходимость внедрения в компьютерные ТК более точных методов моделирования технологических процессов, узлов, агрегатов. Достоверное описание и прогнозирование реальных состояний технологического процесса возможно обеспечить современным уровнем развития методов математического

моделирования нелинейных динамических систем, а также доступной специалистам топливно-энергетического комплекса компьютерной техники. Формирование модельного наполнения компьютерного ТК на основе нелинейных динамических моделей технологического процесса позволит учесть описание фазовых переходов, тепло- и массообменных процессов, теплового и материального баланса компонентов продуктов и других законов физики, химии. Подробное математическое описание динамических характеристик технологических узлов позволит максимально точно адаптировать ТК к внештатным режимам работы установки в ходе текущей эксплуатации по рабочим параметрам, контрольно-измерительному оборудованию и т.д. Однако моделирование нелинейных динамических систем часто осложнено присутствием в большинстве производственных процессов параметрической неопределенности, наличием запаздывания по входу и/или транспортного запаздывания. Кроме указанных сложностей, зачастую при моделировании одного узла или объекта в целом специфика технологического процесса предполагает измерение только входного и выходного сигналов объекта управления, так как прочие величины, характеризующие динамику конструктивно, не доступны. Система же должна извлекать недостающую информацию из доступных сигналов. Переход от методик построения тренажеров на моделях аппроксимации, реальных архивных данных к расчетным моделям позволит также проводить более глубокий анализ причин аварийных и критических режимов работы, окончательно уйти от практики обучения персонала только на готовых и стандартизованных шаблонах.

### **Современные требования к проектированию КТ**

Исходя из перечисленных достоинств и недостатков проектирования модельного наполнения КТ различных тренажерных комплексов, а также существующих федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, необходимо сформулировать к ним основные требования:

- модели должны обеспечить расчет всех измеряемых на установке дистанционно и по месту параметров и составов всех отбираемых проб во всех режимах функционирования агрегата, включая аварийные ситуации и пусковые операции. Для имитации аварийных ситуаций не допускается использование математических моделей, полученных в результате обработки статистической информации, отражающей штатную эксплуатацию агрегата;
- модели должны быть адаптированы к конкретным условиям установки по режимным параметрам, обозначениям и описаниям позиций, обвязке КИПиА, шкалам приборов, границам сигнализаций и т.п.;
- модели должны описывать нормальное функционирование агрегата во всех (предусмотренных регламентом, технологическими инструкциями и т.д.) технологических

режимах, а также работу оборудования, основных и вспомогательных технологических линий при ликвидации аварийных ситуаций;

- в моделях необходимо учитывать теплообмен с окружающей средой, приводящий к остыванию аппаратов и трубопроводов при их отключении и прекращении подачи продуктов;
- в моделях должен выполняться автоматический контроль соблюдения правил пуска, эксплуатации и остановки оборудования, нарушение которых может привести к аварийным ситуациям или разрушению оборудования. Динамические характеристики моделей аппаратов должны отражать реальную (или максимально приближенную к реальной) реакцию объекта на возмущения и управляющие воздействия. В качестве таких возмущений следует рассматривать расходы (загрузка по сырью, расход пара, топлива, теплоносителя, орошения и т.п.), давления, состав и температуру потоков, изменения температуры окружающей среды, а также другие отказы оборудования;
- модели должны обеспечивать возможность оптимизации технологического процесса.

Для решения поставленных задач и выполнения вышепредставленных требований необходимо совершенствование как структурных решений, так и методов моделирования нелинейных динамических систем.

### **Заключение**

Вопрос эффективности подготовки операторов технологических процессов очень многогранен. Изучение данного направления в самых разных плоскостях лежит в многочисленных исследованиях, выполненных в данном направлении [3,4]. Однако актуальность развития этого направления обуславливается стремительным ростом потребности в более современных средствах тренинга и аттестации сотрудников, занятых ведением регулярно усложняющихся технологических процессов.

В процессе анализа автоматизированных систем обучения было обосновано базовое направление в построении компьютерных ТК, предназначенных для подготовки и переподготовки оперативного технологического персонала – использование новых структурных принципов, математических методов моделирования технологических процессов и агрегатов.

Построение архитектуры обучающей системы должно осуществляться с учетом необходимой для целей обучения точности и степени детализации параметров процессов применительно к режимам функционирования производственного объекта.

В результате анализа достоинств и недостатков методов модельного наполнения компьютерных тренажеров различных тренажерных комплексов, а также существующих федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, сформулированы

основные требования к проектированию современных ТК.

### Список литературы

1. Информация об авариях, произошедших на предприятиях, подконтрольных территориальным органам Федеральной службы по экологическому, технологическому, атомному надзору. URL: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) (дата обращения 10.04.2014).
2. Компьютерный технологический тренажер производства полиэтилентерефталата. URL: <http://www.t-standart.ru/index.php/component/content/article/1-2010-09-23-07-09-40/58-2013-09-04-06-38-12> (дата обращения 8.04.2014).
3. Мугаллимов Ф.М., Кудрявцев А.А. // Инновационные разработки в области технических средств обучения специалистов трубопроводного транспорта. Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2013. – № 4. – С. 475-487.
4. Осипова В.А., Даныкина Г.Б. // Повышение эффективности обучения операторов технологических процессов на базе компьютерных тренажеров. Системы. Методы. Технологии. – 2011. – № 3(11). – С. 106-114.
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности утверждены Приказом Ростехнадзора от 11.03.2013 г. № 96 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

### Рецензенты:

Арьков В.Ю., д.т.н., профессор кафедры АСУ, ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа.

Мунасыпов Р.А., д.т.н., профессор кафедры ТК, ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа.