

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЁРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ЦЕНТРАЛЬНОГО ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТА УНИЧТОЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

А. Ю. Уткин⁽¹⁾, В. Г. Лебедев⁽²⁾, Н. А. Костикова⁽¹⁾,
Е. Л. Кулида⁽²⁾, Д. Б. Рождественский⁽²⁾

⁽¹⁾ Государственный научно-исследовательский институт органической химии и технологии, г. Москва;

⁽²⁾ Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, г. Москва

Рассмотрены принципы построения компьютерного тренажёрного комплекса для обучения операторов объекта уничтожения химического оружия и функциональные особенности модулей программного обеспечения.

ВВЕДЕНИЕ

Российская Федерация выполняет взятые на себя международные обязательства в соответствии с Конвенцией о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и его уничтожении. Объекты уничтожения химического оружия (УХО) относятся к высокотоксичным, пожаро- и взрывоопасным. Основные опасности производства, обусловленные особенностями технологического процесса, применяемого оборудования и условиями его эксплуатации, кроются в возможностях:

- поражения людей высокотоксичными и токсичными веществами, которые обращаются в производстве;
- образования взрывоопасных концентраций веществ, образующихся в процессе детоксикации химического оружия;
- получения химических и термических ожогов в связи с наличием в производстве агрессивных жидкостей и теплоносителей с высокой температурой.

Безопасность технологического процесса обеспечивается реализацией на объекте УХО таких систем, как АСУТП, противоаварийной защиты, блокировок и сигнализаций (световой и звуковой),

общеобменной и аварийной вентиляции. Кроме того, на объектах УХО предусматриваются мероприятия по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности ведения технологического процесса (организация системы азотного дыхания для снижения взрывоопасности потока абгазов, заземление технологического оборудования для предотвращения накопления статического электрического заряда, автоматическое углекислотное пожаротушение слоя активированного угля адсорбционных колонн и фильтров системы очистки абгазов, применение агрегатов в герметичном, пожаро- и взрывобезопасном исполнении).

Аварийные ситуации на объекте УХО могут возникнуть при нарушениях регламента ведения процессов транспортировки, извлечения из тары и детоксикации отравляющих веществ, а также при нарушениях герметизации оборудования и коммуникаций во время ремонтных и дегазационных работ. Для предотвращения поступления вредных ингредиентов в атмосферный воздух в случае аварийных ситуаций предусматриваются меры, обеспечивающие безопасность ведения процесса, снижение выделения выбросов и предотвращение залповых выбросов.

Потенциальная опасность технологического объекта, сложность программно-аппаратного обеспечения систем управления технологическими про-



цессами УХО и ответственность за принимаемые решения создают значительные трудности в работе технологического и оперативного персонала и предъявляет исключительно высокие требования к уровню его подготовки.

1. ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА

Для объекта УХО, расположенного в районе пос. Горный Саратовской области, создан компьютерный тренажёрный комплекс (КТК), предназначенный для обеспечения компьютерного тренинга оперативного персонала, работающего с основными подсистемами АСУТП объекта УХО, для выработки у него навыков безопасного и эффективного управления технологическими процессами путём воссоздания и анализа ситуаций, которые могут возникнуть как в штатном режиме, так и при неполадках и аварийных ситуациях.

В основу КТК положена специально разработанная методология обучения оперативного персонала управления технологическими процессами УХО с помощью компьютерных тренажёров. В его состав входят динамические модели процессов, обеспечивающие адекватную реакцию моделируемого объекта на произвольные вмешательства участников тренинга.

В КТК реализованы:

- имитация рабочих мест оперативного персонала центрального пульта управления объекта УХО;
- различные режимы функционирования КТК (режимы консультации обучаемых, приобретения знаний, взаимодействия с инструктором, проверки и оценки знаний обучаемых, создания тренировочных упражнений и др.);
- динамические модели процессов в химическом реакторе и модели основных технологических узлов и агрегатов;
- различные режимы работы обучаемых: общий (все обучаемые работают с общей моделью), индивидуальный (каждый обучаемый работает со своей моделью), групповой (участники группы совместно работают с одной моделью);
- различные режимы работы технологического оборудования (подготовка технологического узла к пуску, пусковые операции, штатная работа, контроль и регулирование узла во время работы, останов, аварийные ситуации);
- система поддержки инструктора, обеспечивающая автоматизацию составления сценарных алгоритмов тренинга, задания внутренних и внешних возмущений, взаимодействие с одним или несколькими обучаемыми, автоматический контроль за правильностью выполнения зада-

ний с учётом отведённого интервала времени, автоматическую оценку знаний обучаемых по результатам выполнения тренировочных упражнений и тестовых вопросов и др.;

- полное протоколирование работы обучаемых, что позволяет воспроизвести любой сеанс работы КТК;
- возможность изменения масштаба времени (реальное время, ускорение медленных и замедление быстропротекающих процессов).

Основные технические средства КТК включают в себя объединённые посредством высокоскоростной локальной вычислительной сети типа Fast Ethernet, автоматизированное рабочее место (АРМ) инструктора, который управляет процессом обучения, группу АРМ обучаемых и сервер.

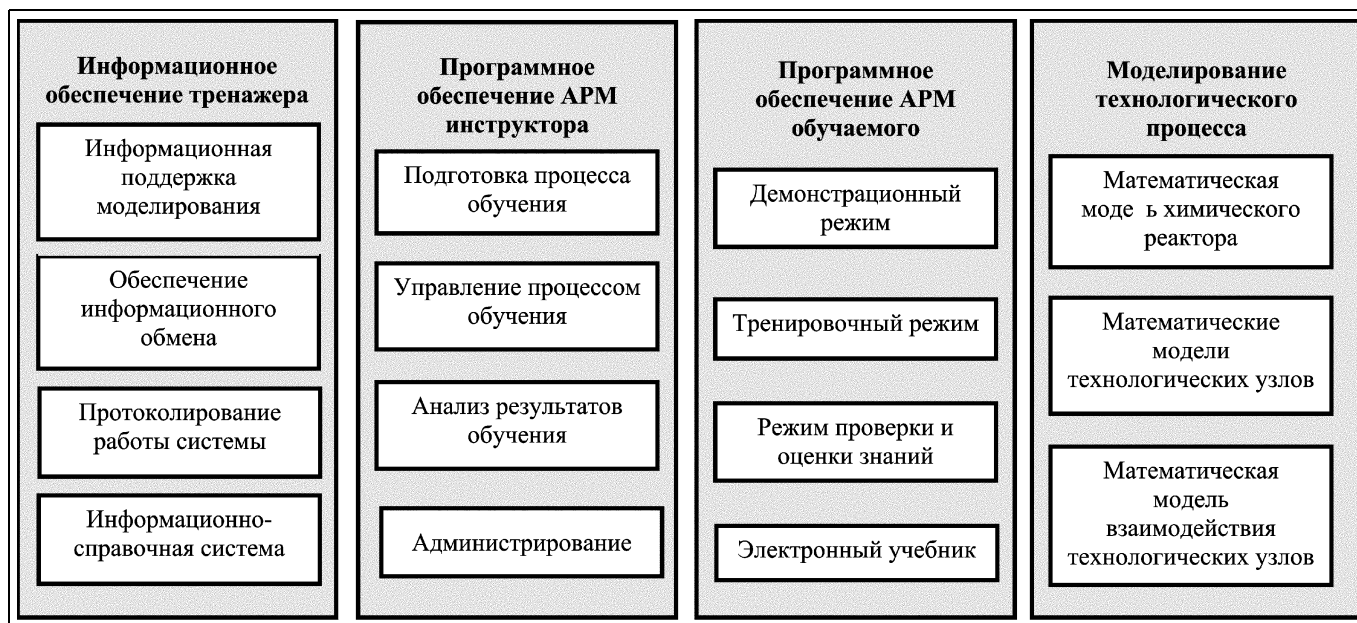
Функциональное назначение сервера — информационное обеспечение КТК, моделирование технологического процесса и обеспечение обмена информацией между сервером и автоматизированными рабочими местами на основе архитектуры “клиент—сервер”. Функциональное назначение автоматизированных рабочих мест — обеспечение подготовки и проведения процесса обучения, проверки и оценки знаний и анализа процесса обучения.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

На рисунке представлена обобщённая структура программного обеспечения, позволяющего обеспечить эффективную реализацию основных функциональных возможностей КТК и максимальную независимость при разработке, отладке и выборе инструментальных средств для реализации основных компонентов комплекса.

Основой структуры программного обеспечения КТК служит информационное ядро, через которое происходит обмен информацией между компонентами программного обеспечения, реализующими моделирование технологического процесса, и приложениями, реализующими программное обеспечение АРМ. Особенность такой структуры заключается в том, что непосредственный обмен информацией, минуя информационное ядро, между программными моделями и интерфейсом пользователей отсутствует.

Для реализации информационного ядра КТК в качестве инструментального средства выбрана система управления базами данных (СУБД) Microsoft SQL Server 2000, позволяющая надёжно хранить информацию в базах данных (БД) на сервере и эффективно управлять ею. Разработанная специально для управления централизованными базами данных, основанная на технологии клиент —



Структура программного обеспечения компьютерного тренажерного комплекса для объекта уничтожения химического оружия

сервер, СУБД Microsoft SQL Server гарантирует защиту от таких проблем, как попытки нескольких пользователей одновременно модифицировать данные, и эффективно распределяет среди пользователей доступные ресурсы, такие как память, сетевая пропускная способность и др.

Программное обеспечение АРМ отображает протекание технологического процесса на экранах пользователей на основе считываемой из БД информации о состояниях активных элементов мнемосхем и параметрах технологического процесса и заносит в БД информацию о действиях пользователей (команды пользователей). На сервере работает интерпретатор команд пользователей, который считывает команды пользователей из БД и интерпретирует их. Поскольку отображение протекания технологического процесса полностью основано на информации, хранящейся в БД, то интерпретация команд пользователей заключается в преобразовании команд пользователей в другое представление, являющееся входной информацией для программного обеспечения АРМ.

Разработанный интерпретатор команд пользователей может работать в реальном времени, ожидая записи очередной команды и выполняя ее, или интерпретировать команды, ранее занесенные в БД, что позволяет воспроизводить любой ранее выполненный сеанс работы, информация о котором хранится в БД.

Моделирование технологического процесса реализуется *программными моделями*, выполняемыми

на сервере. Программная модель моделирует технологический процесс с учетом состояний активных элементов схем, занесенных в БД в результате действий пользователей.

Программная модель моделирует изменения технологических параметров и заносит полученные значения в БД. Запуск программных моделей осуществляется в зависимости от задач процесса обучения. Обучаемые могут работать совместно с одной программной моделью или индивидуально с разными программными моделями в зависимости от целей процесса обучения.

Команды пользователей передаются программным моделям не непосредственно, а через таблицы БД. В этом случае работа пользователей на КТК полностью протоколируется, что особенно важно при подготовке персонала для объектов повышенной опасности. При таком подходе одну и ту же программную модель можно применять как при реальной работе пользователей, так и для воспроизведения любого прошедшего сеанса работы на КТК.

Технологические параметры процесса поступают на экраны пользователей не непосредственно от программных моделей, а считываются из БД. Это позволяет легко переключать программное обеспечение АРМ обучаемых на работу с разными программными моделями, реализовывать различные режимы обучения, переключать программное обеспечение АРМ инструктора для работы с разными обучаемыми или группами обучаемых.



Описанный подход позволяет легко реализовать режим совместного управления технологическим процессом несколькими обучаемыми с разных рабочих мест, что соответствует реальной работе оперативного персонала на объектах повышенной опасности.

Выбранная структура программного обеспечения КТК позволила решить две важные задачи: обеспечение независимости при разработке наиболее трудоемких компонентов программного обеспечения и повышение эффективности его функционирования. Поскольку интерфейс между программными компонентами реализуется через БД, то после разработки структуры таблиц БД эти компоненты можно разрабатывать и отлаживать независимо. Для их разработки можно независимо выбирать удобные инструментальные средства, поскольку большинство современных инструментальных средств позволяет приложениям обращаться к реляционному ядру БД с помощью языка структурированных запросов (Structured Query Language — SQL) и интерфейсов доступа к данным для Windows: Microsoft ActiveX Data Object (ADO), OLE DB или Open Database Connectivity (ODBC).

3. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ИНСТРУКТОРА

Основная задача инструктора состоит в качественном обучении оперативного персонала. Его АРМ обеспечивает подготовку процесса обучения, управление процессом обучения, анализ результатов обучения и администрирование процесса обучения.

Подготовка процесса обучения включает в себя разработку тренировочных упражнений, создание сценариев обучения и ввод контрольных параметров.

Управление процессом обучения заключается в запуске моделей, управлении ими, вмешательстве инструктора в ход моделируемого процесса с целью создания непредвиденных для обучаемого ситуаций, моделировании неисправностей в работе оборудования и аварийных ситуаций.

При анализе результатов обучения инструктор просматривает информацию о работе обучаемых над различными упражнениями в виде графиков и диаграмм. При необходимости инструктор может воспроизводить прошлые сеансы обучения и настраивать систему автоматической оценки выполнения упражнений выбором коэффициентов, хранящихся в БД.

Инструктор может назначать отдельным обучаемым или группам обучаемых работу с одной из работающих моделей по определенному сценарию.

Он может видеть на своем мониторе происходящее на любом из мониторов обучаемых и при необходимости вмешиваться в работу любого из них.

Базовая система знаний, ориентированная на инструктора, состоит из четырех основных групп источников знаний:

- о решаемых обучаемыми задачах;
- о процессе решения задачи;
- о модели технологического процесса;
- об обучаемых.

Опыт, приобретаемый инструктором в процессе компьютерного тренинга, накапливается и реализуется во вновь создаваемых упражнениях для обучаемых с помощью разработанных и встроенных в КТК инструментальных средств.

4. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ОБУЧАЕМОГО

Человеко-машинное взаимодействие обучаемого с КТК реализуется путем создания на АРМ обучаемого имитации среды управления технологическим процессом объекта УХО, т. е. эмуляции операторского интерфейса центрального пульта управления. Обучение осуществляется на основе модели технологического процесса УХО и моделей типовых агрегатов.

Функциональные возможности АРМ обучаемого:

- запуск тренировочных упражнений и тестовых вопросов для самообучения оперативного персонала;
- представление обучаемому информации о ходе моделируемого процесса;
- взаимосвязь работы всех узлов и агрегатов моделируемого процесса;
- управление моделируемым процессом, операциями, отдельными узлами, элементами технологического оборудования посредством воздействия на активные элементы мнемосхем;
- сигнализация о нарушениях хода моделируемого процесса;
- регистрация технологических параметров и их отклонений от регламентных норм;
- работа с информационно-справочной системой и др.

Отработка действий при моделировании аварийных ситуаций выполняется в три стадии: обнаружение события; диагностирование причин, вызвавших событие; компенсация нежелательных последствий события.

Стадия обнаружения события включает в себя выявление отклонений от заданного режима, выхода параметров за диапазон пороговых значений, срабатывания технологических блокировок.

Стадия диагностирования причин, вызвавших событие, заключается в идентификации типа неисправности и определении неисправных элементов (например, дискретного клапана, заслонки, насоса и т. п.).

Стадия компенсации последствий события предполагает, в частности, выполнение обучаемым действий, связанных с вмешательством в ход моделируемого процесса с учётом целей тренинга.

В основу информационно-справочной системы положена нелинейная организация информационных единиц, гибкая форма управления этими единицами в гипертекстовой системе. Гипертекстовая информационно-справочная система позволяет оперативно получить необходимую информацию о нормативных документах, об объекте УХО, о свойствах веществ, участвующих в процессе, технологическую информацию и информацию, связанную с вопросами безопасности на производстве, быстро принимать эффективные решения, требующие учёта огромного числа факторов.

5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

В состав КТК входят математические модели различных агрегатов и технологических узлов. В качестве примера рассмотрим модель основного из них — химического реактора гидролиза люизита. Его математическая модель формируется на основе двух фундаментальных физических законов: закона сохранения массы и закона сохранения энергии. В нашем случае рассматривается реактор периодического действия, идеального смешения с изменяющейся реакционной массой.

Закон сохранения массы выражается в виде дифференциального уравнения первого порядка, интегральная кривая которого определяет кинетическую кривую реакции гидролиза люизита:

$$\frac{dC(t)}{dt} = -\frac{C(t)Q\rho^{-1}}{V_0 + Q\rho^{-1}t} + \frac{Q}{V_0 + Q\rho^{-1}t} + R_p,$$

где $C(t)$ — концентрация реагента; Q — скорость поступления реагента или количество реагента, вступающего в реакцию за единицу времени; R_p — суммарная скорость расхода реагента; V_0 — начальный объем реакционной массы (объем раствора щелочи); ρ — плотность реагента; t — время.

Для случая одной простой реакции $R_p = C(t)K_0 \times \exp[-E/(RT)]$. Это выражение получено из уравнения Аррениуса, которое устанавливает зависимость константы скорости реакции k от абсолютной температуры T : $k = K_0 \exp[-E/(RT)]$, где K_0 — предэкспоненциальный множитель; E — энергия

активации реакции, R — универсальная газовая постоянная.

Уравнение энергетического баланса имеет вид:

$$\frac{dT(t)}{dt} = \frac{\Delta q R}{\rho C_1} - \frac{K_T S (T(t) - T_x(t))}{C_1(m_0 + Qt)} - \frac{Q}{m_0 + Qt} T(t),$$

где C_1 и $T(t)$ — удельная теплоемкость и температура реакционной массы; m_0 — начальная реакционная масса; $T_x(t)$ — температура хладагента; K_T — коэффициент теплопередачи; S — площадь поверхности теплообмена рубашки реактора; Δq — тепловой эффект реакции.

Уточнение математической модели заключается в изменении соответствующих параметров и коэффициентов на основе данных, получаемых на реальном реакторе. К ним относятся коэффициент теплопередачи, площадь поверхности теплообмена рубашки реактора, а также параметры химических реакций (предэкспоненциальный множитель и энергия активации реакции).

Представленные ранее уравнения позволяют смоделировать операции подачи раствора щелочи, люизита, разогретого пара, хладагента. Кроме того, на базе этих же уравнений можно получить схему выхода ацетилена, а добавив уравнения паробразования и “азотного дыхания”, смоделировать состояние газовой среды реактора. Все переменные обобщенной модели могут быть выведены на виртуальные индикаторы, которые полностью отображают шкалы реальных контрольных приборов. Построенный таким образом КТК позволяет отобразить не только рабочую панель управления технологического процесса гидролиза люизита, но и адекватно имитирует все реальные процессы, протекающие в реакторе. Анализируя работу реального реактора и модели, можно найти различие только в характеристиках инерционности. Реакция КТК на внешние возмущения несколько опережает показания приборов реальной установки при тех же возмущениях. Это связано с тем, что в КТК принята модель химического реактора идеального смешения. По нашим оценкам время опережения не превышает нескольких секунд.

Так как модель химического реактора строилась для случая изменяющейся реакционной массы, то в дифференциальные уравнения входят изменяющиеся во времени параметры. Их решения имеют области неустойчивости, характеристики которых можно найти путем исследования этих уравнений. Для реальных реакторов эти сведения важны для определения устойчивого рабочего режима. В принципе, методы моделирования, применяемые для разработки КТК, могут быть полезны как при выборе оптимального режима работы реактора, так и



при его конструировании. С помощью разработанной модели можно наблюдать за поведением реагентов и продуктов гидролиза (например, люизита и ацетилена) в процессе протекания реакции, что невозможно на реальном реакторе. При необходимости модель можно настроить до такой степени точности, что она сможет служить источником дополнительной информации в реальных установках.

Исследования модели показали, что она обладает широким динамическим диапазоном с высоким уровнем адекватности реальным процессам. Такие свойства модели позволяют воссоздавать практически любые ситуации, которые возможны на реальном объекте, в том числе и имитировать аварийные ситуации. С помощью разработанной модели можно обучать методам ручного управления процессом, в том числе и в критических ситуациях, например, отключить систему охлаждения, понизить температуру нагретого пара и др. Обучение осуществляется на основе контроля показаний соответствующих приборов — индикаторов веса, давления, температуры, динамики концентрации люизита.

Для моделирования технологических процессов в КТК применялся, в частности, программный пакет LabVIEW, разработанный известной фирмой "National Instruments" (США) и представляю-

щий собой систему графического программирования. От своих конкурентов, также пользующихся в качестве командных графическими языками, пакет LabVIEW отличается наличием мощной математической библиотеки, что позволяет применять его для моделирования сложных физических процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданный и успешно прошедший государственные испытания компьютерный тренажерный комплекс является эффективным средством подготовки оперативного персонала управления технологическими процессами объектов уничтожения химического оружия и их аттестации. Он позволяет отработать действия обучаемых в штатных и экстремальных ситуациях на программных моделях, восстановить профессиональные навыки и знания в условиях вахтового метода обслуживания производств, выполнить автоматический анализ действий обучаемых и оценить их профессиональную пригодность к работе по управлению технологическими процессами объектов уничтожения химического оружия.

☎ (095) 273-87-36

E-mail: valya@ipu.rssi.ru



XIII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

"ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ"

(Москва, декабрь 2005 г.)

Предполагается рассмотреть: проблемы и методы оценки безопасности различного типа; механизмы управления безопасностью; правовое регулирование вопросов безопасности; формирование структур систем управления безопасностью; теорию и методы принятия решений, связанные с безопасностью; прогнозирование и моделирование процессов управления безопасностью; планирование и стратегическое управление в системах обеспечения безопасности; методы построения средств информационной поддержки принятия решений в системах управления безопасностью; системы управления силами и средствами при управлении безопасностью.

Конференция состоится в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН по адресу:
Москва, Профсоюзная ул., 65. Официальные языки конференции – русский, английский.
Продолжительность работы конференции – 1 день.

Заявки на участие в конференции принимаются по адресу:
117997 Москва, ГСП-7, Профсоюзная ул., 65, Институт проблем управления, лаб. 20,
Оргкомитет международной конференции; тел. (095) 334-89-59, e-mail: Conf20@ipu.rssi.ru

Материалы представляются на дискете плюс 1 экз. в распечатанном виде (2 - 4 стр.). На этикетке дискеты указать ф.и.о. авторов и имя файла, названного по фамилии первого автора; или высылается по электронной почте. В графе "Тема" укажите – Конференция. Необходимо сообщить сведения об авторах: фамилию, имя, отчество автора(ов); должность, ученое звание; место работы (полное название и аббревиатура); почтовый адрес для переписки (обязательно указать индекс) и(или) e-mail; номер телефона для связи.

Требования по оформлению. Материалы должны быть представлены в редакторе Word, версии не ниже 6.0; формат А4, заполняемый текстом 115×165 мм (параметры страницы: верхнее поле – 2,5 см; нижнее – 10,7 см; левое – 4,7 см; правое – 4,8 см). Шрифт – Times New Roman, 10 пунктов через 1 интервал, красная строка – 0,5 см, страницы не нумеруются. Библиографические ссылки в тексте даются в квадратных скобках, рисунки должны допускать возможность масштабирования.