



МОДЕЛИ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЁРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ ОБЪЕКТА УНИЧТОЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

Е. Л. Кулида, В. Г. Лебедев

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, г. Москва

Описана модель процесса обучения, положенная в основу автоматизации процесса обучения на компьютерном тренажёрном комплексе, предназначенного для тренинга операторов объектов уничтожения химического оружия. Предложена информационная модель технологического процесса, на базе которой реализован интерфейс между математической моделью технологического процесса и моделью процесса обучения.

ВВЕДЕНИЕ

Потенциальная опасность объекта уничтожения химического оружия (УХО), сложность аппаратно-программного обеспечения автоматизированной системы управления технологическим процессом и ответственность за принимаемые решения создают значительные трудности в работе операторов и предъявляют исключительно высокие требования к уровню их подготовки.

Для объекта УХО (п. Горный Саратовской области) создан компьютерный тренажёрный комплекс, предназначенный для обеспечения тренинга операторов автоматизированной системы управления технологическим процессом УХО.

Комплекс содержит динамические модели процессов, обеспечивающие адекватное моделирование технологического процесса УХО при произвольных вмешательствах участников тренинга. В качестве интерфейса оператора используются мнемосхемы автоматизированной системы управления технологическим процессом, что позволяет имитировать рабочие места операторов объекта УХО посредством математических моделей вместо реального технологического процесса. Основу интерфейса между программными моделями, имитирующими технологический процесс УХО, и отображением состояния технологического процесса на мнемосхемах составляет информационная модель технологического процесса.

1. ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Под информационной моделью технологического процесса будем понимать взаимосвязанный набор параметров, отражающий динамику технологического процесса и состояние системы управления. Предлагаемая в данной работе информационная модель технологического процесса базируется на определении пяти типов данных.

Первый тип данных — активный элемент — введен для отображения дискретных управляющих воздействий оператора на технологический процесс. Активный элемент характеризуется двумя дискретными величинами — “состояние” и “команда”, принимающими значения из конечных наборов допустимых значений.

Пусть $D'_i(t_m)$ — состояние активного элемента i в момент времени $t_m = t_0 + m\Delta t$, $m = 1, 2, \dots$, $D''_i(t_m)$ — последняя команда, поданная на активный элемент i до момента времени t_m , $i = 1, \dots, I$, I — число активных элементов. Будем характеризовать множество активных элементов вектором $\vec{D}(t_m) = (D'_1(t_m), D''_1(t_m), \dots, D'_I(t_m), D''_I(t_m))$.

Обозначим конечное множество состояний активного элемента i через \widehat{D}'_i , а конечное множество команд для активного элемента i через \widehat{D}''_i . Тогда $D'_i(t_m) \in \widehat{D}'_i$, $D''_i(t_m) \in \widehat{D}''_i$.

Активный элемент сопоставляется устройству с дискретным управлением, которое может находиться в конечном числе состояний. Состояние устройства может быть изменено оператором при помощи автоматизированной системы управления технологическим процессом.

Помимо изменения оператором, состояние устройств с дискретным управлением может изменяться системой автоматической противоаварийной защиты. Для моделирования системы автоматической противоаварийной защиты введен *второй тип* данных — автоматическая блокировка. Автоматическая блокировка характеризуется уравнением срабатывания, которое содержит условие срабатывания и выполняемое действие. Автоматическая блокировка может быть включена или отключена оператором. Она считается активной, если выполнено связанное с ней условие срабатывания и она включена. Если автоматическая блокировка активна, то выполняется действие, определяемое уравнением срабатывания. Действие заключается в подаче команд на одно или несколько устройств с дискретным управлением. В случае активности автоматической блокировки команды, подаваемые в результате выполнения соответствующего действия, не могут быть изменены оператором.

Пусть $\Theta_j(t_m)$ — условие срабатывания автоматической блокировки j , представляющее собой логическое условие над переменными информационной модели, $j = 1, \dots, J$, J — число автоматических блокировок; $O_j(t_m)$ — булевская переменная, принимающая значение true, если автоматическая блокировка j включена оператором, и значение false в противном случае; $G_j(t_m)$ — булевская переменная, принимающие значение true в случае активности блокировки j и значение false в противном случае, $G_j(t_m) = \Theta_k(t_m) \wedge O_j(t_m)$. Обозначим $\hat{G}(t_m) = (G_1(t_m), \dots, G_J(t_m))$.

Рассмотрим активный элемент i , состояние которого может быть изменено в результате срабатывания автоматической блокировки j . Пусть $\hat{J}(i)$ — множество всех автоматических блокировок, которые в случае активности определяют состояние активного элемента i , $j \in \hat{J}(i)$. Оператор не может изменить значение переменной $D_i''(t_m)$, если в момент времени t_m активна хотя бы одна автоматическая блокировка из множества $\hat{J}(i)$. Таким образом,

$$D_i''(t_m) = \begin{cases} D_i^*(t_m), & \text{if } \forall j \in \hat{J}(i): G_j(t_m) = \text{false} \\ D_i^{**}(t_m), & \text{if } \exists j \in \hat{J}(i): G_j(t_m) = \text{true}, \end{cases}$$

где $D_i^*(t_m) \in \widehat{D}_i''$ — последняя команда оператора до момента времени t , поданная на устройство, соответствующее активному элементу i , $D_i^{**}(t_m) \in \widehat{D}_i''$ — значение, определяемое автоматическими блокировками $j \in \hat{J}(i)$, такими, для которых в момент времени (t_m) выполняется $k = 1, \dots, K$, K — число регулируемых клапанов, $\vec{R}_k(t_m) =$

условие $G_j(t_m) = \text{true}$. В каждый момент времени значение $D_i^{**}(t_m)$ должно быть определено однозначно.

Для примера рассмотрим случай возникновения аварийной ситуации в реакторе гидролиза люизита.

Условие возникновения аварийной ситуации в реакторе в момент времени t_m записывается следующим образом:

$$PT(t_m) \geq 40 \vee TE(t_m) \geq 100 \vee WE(t_m) \geq 280 \vee FT(t_m) \leq 0,15 \vee SOST(t_m) = \text{'OFF'}$$

где $PT(t_m)$ — давление в реакторе в момент времени (t_m) , кПа; $TE(t_m)$ — температура в реакторе в момент времени (t_m) , °C; $WE(t_m)$ — реакционная масса в реакторе в момент времени (t_m) , кг; $FT(t_m)$ — расход азота в реакторе в момент времени (t_m) , м³/ч; $SOST(t_m)$ — состояние электродвигателя мешалки реактора в момент времени t_m .

Для ликвидации аварийной ситуации необходимо немедленно прекратить подачу люизита в реактор, закрыв дискретный клапан i^* , через который люизит поступает в реактор. В этом случае работа оператора поддерживается пятью технологическими блокировками, уравнения срабатывания которых имеют вид:

если $(PT(t_m) \geq 40)$, то $D_{i^*}''(t_m) := \text{"закреть"};$

если $(TE(t_m) \geq 100)$, то $D_{i^*}''(t_m) := \text{"закреть"};$

если $(WE(t_m) \geq 280)$, то $D_{i^*}''(t_m) := \text{"закреть"};$

если $(FT(t_m) \leq 0,15)$, то $D_{i^*}''(t_m) := \text{"закреть"};$

если $(SOST(t_m) = \text{'OFF'})$, то $D_{i^*}''(t_m) := \text{"закреть"}.$

В случае активности какой-либо из этих блокировок на дискретный клапан i^* подается команда "закреть" и клапан блокируется в этом состоянии до тех пор, пока все указанные технологические блокировки не выйдут из активного состояния.

Третий тип данных — это параметры, удержание которых в пределах допустимого диапазона значений гарантирует протекание процесса в штатном режиме, и поэтому отслеживание тенденций изменения этих параметров является одной из важных задач при управлении объектом.

Пусть $P_n(t_m)$ — значения параметров функционирования в момент времени t_m , $n = 1, \dots, N$, где N — число параметров функционирования. В отличие от активных элементов, для которых важно лишь текущее значение, для параметров функционирования важна также тенденция изменения, поэтому необходимо хранить вектор значений $\vec{P}_n(t_m) = (P_0(t_0), \dots, P_n(t_m))$. Обозначим $P(t_m) = (\vec{P}_1(t_m), \dots, \vec{P}_N(t_m))$.

Четвертый тип данных введен для описания состояний регулируемых клапанов, при помощи которых могут регулироваться значения наиболее важных параметров функционирования.

Пусть $R_k(t_m)$ — процент открытия регулируемого клапана k , при помощи которого регулируется значение параметра функционирования n_k , в момент времени t_m , $= (R_k(t_0), \dots, R_k(t_m), R(t_m) = (\vec{R}_1(t_m), \dots, \vec{R}_K(t_m))$.



Пусть $M_k(t_m)$ — режим управления регулируемым клапаном k в момент времени t_m . Выделим два режима управления регулируемым клапаном: прямое управление и автоматическое регулирование. В режиме прямого управления процент открытия регулируемого клапана k задается оператором непосредственно. В режиме автоматического регулирования оператор может назначить задание $P_{n_k}^*(t_m)$ для параметра функционирования n_k , регулируемого при помощи регулируемого клапана k , и параметры регулирования $\vec{V}_k(t_m)$ (например, параметры ПИД-регулирования $KP_k(t_m), KI_k(t_m), KD_k(t_m)$).

$$R_k(t_m) = \begin{cases} R_k^*(t_m), & \text{если } M_k(t_m) \text{ — "прямое управление",} \\ \Phi(\vec{R}_k(t_m), P_{n_k}^*(t_m), \vec{V}_k(t_m)), & \text{если } M_k(t_m) \text{ —} \\ & \text{"автоматическое управление",} \end{cases}$$

где $R_k^*(t_m)$ — заданный оператором к моменту времени t_m процент открытия регулируемого клапана k , $\Phi(\cdot)$ — функция регулирования.

Таким образом, для регулируемого клапана k необходимо задать набор параметров: $\vec{W}_k(t_m) = (M_k(t_m), P_{n_k}^*(t_m), \vec{V}_k(t_m))$ и вектор значений $\vec{R}_k(t_m) = (R_k(t_0), \dots, R_k(t_m))$.

Обозначим $W(t_m) = (\vec{W}_1(t_m), \dots, \vec{W}_K(t_m))$, $R(t_m) = (\vec{R}_1(t_m), \dots, \vec{R}_K(t_m))$.

Для параметра функционирования n_k значение $P_{n_k}(t_m) = \Omega_{n_k}(\vec{D}(t_m), R_k(t_m), P(t_{m-1}))$, где $\Omega_{n_k}(\cdot)$ — функция моделирования технологического параметра n_k . Функции моделирования технологических параметров составляют математическую модель технологического процесса.

Пятый тип данных введен для описания индикаторов состояний агрегатов, узлов и подсистем технологического процесса. Пусть $E_l(t_m)$ — индикаторы состояний в момент времени t_m , $l = 1, \dots, L$, где L — число индикаторов, $\vec{E}(t_m) = (E_1(t_m), \dots, E_L(t_m))$, где $E_l(t_m) = Z_l(\vec{D}(t_m), \vec{P}(t_m))$, $Z_l(\cdot)$ — функция анализа, связанная с индикатором состояния l .

Информационная модель объекта управления в момент времени t_m определяется следующим набором параметров указанных типов:

$$M(t_m) = \langle \vec{D}(t_m), G(t_m), R(t_m), W(t_m), P(t_m), \vec{E}(t_m) \rangle.$$

Информационная модель технологического процесса на основе предложенных типов данных является основой интерфейса между моделью технологического процесса УХО и другими блоками компьютерного тренажерного комплекса. Предлагаемый подход может быть использован на объектах по уничтожению разных типов химического оружия, с разными технологическими процессами его уничтожения. Если при изменении модели технологического процесса соответствующая информационная модель будет реализована в рамках предлагаемой структуры, то остальные блоки тренажер-

ного комплекса будут функционировать с этой моделью, и их не нужно будет изменять.

2. МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ

Основу разработанной методики обучения операторов составляют сценарии, формируемые из индивидуально подбираемых для каждого оператора тренировочных упражнений $\langle U^1, \dots, U^Y \rangle$. Под тренировочным упражнением будем понимать пару $U^y = \langle \vec{M}_0^y, \vec{S}^y \rangle$, $y = 1, \dots, Y$, где Y — число упражнений в сценарии; \vec{M}_0^y — набор значений переменных, задающий начальное состояние модели функционирования технологического процесса, при котором должно начинаться выполнение упражнения y , т. е. $M(t_0) = \vec{M}_0^y$, t_0 — момент начала выполнения упражнения y ; $\vec{S}^y = (S_1^y, \dots, S_{H^y}^y)$ — последовательность шагов упражнения y , $S_{h^y}^y$ — шаг упражнения y , $h^y = 1, \dots, H^y$ — номер шага упражнения y , H^y — число шагов упражнения y .

На каждом шаге тренировочного упражнения оператор должен выполнить определенное действие, например: открыть дискретный клапан, включить мешалку реактора, задать значение параметра регулятора, отключить технологическую блокировку и т. д. Для упрощения модели будем предполагать, что на каждом шаге выполняется действие, состоящее из одной команды, так как действие, включающее в себя несколько команд, можно разбить на несколько шагов. Таким образом, шагу с номером h^y сопоставляется параметр информационной модели технологического процесса Z_{h^y} и присваиваемое ему значение V_{h^y} .

Выполнение действия должно привести к определенному результату. Результат заключается в изменении состояния технологического оборудования и в изменении технологических параметров модели: уровня, температуры, давления и др. Для реализации этих изменений пересчитываются параметры информационной модели технологического процесса. Шагу упражнения с номером h^y сопоставляется логическое условие завершения шага: $F_{h^y}(\vec{D}(t), \vec{P}(t))$.

Таким образом, шаг упражнения с номером h^y характеризуется следующими величинами: $S_{h^y}^y = (Z_{h^y}, V_{h^y}, F_{h^y}(\vec{D}(t), \vec{P}(t)))$.

Шаг упражнения с номером h^y считается выполненным в момент времени $t_m = t_{h_0} + m\Delta t$, где m — минимальное значение, при котором выполняется логическое условие $F_{h^y}(\vec{D}(t), \vec{P}(t))$, где t_{h_0} — момент начала выполнения шага с номером h^y .

В режиме проверки знаний по результату выполнения тренировочных упражнений генерируется оценка. Основными параметрами, определяющими оценку, яв-

ляются число команд, выполненных оператором для решения поставленной задачи, и затраченное время. Соотношение между этими параметрами изменяется в зависимости от этапа обучения. Например, на начальном этапе обучения время выполнения тренировочного упражнения может совсем не учитываться, но по мере обучения его важность возрастает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе математической модели технологического процесса уничтожения химического оружия, информационной модели технологического процесса и модели процесса обучения в компьютерном тренажерном комплексе¹ реализованы:

- имитация рабочих мест операторов объекта уничтожения химического оружия;
- различные режимы функционирования тренажера, а именно: режим консультации обучаемых с системой, режим приобретения знаний, режим взаимодействия с инструктором, режим проверки знаний обучаемых, режим оценки знаний, режим создания тренировочных упражнений и тестов;
- различные режимы работы обучаемых: общий (все обучаемые работают с общей моделью), индивидуальный (каждый обучаемый работает со своей 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, включающая автоматизацию составления сценарных алгоритмов тренинга, задания возмущений, взаимодействие с одним или несколькими обучаемыми, автоматический контроль правильности выполнения заданий с учетом отведенного интервала времени, автоматическую оценку знаний обучаемых по результатам выполнения тренировочных упражнений и ответов на тестовые вопросы и др.;
- режимы реального и ускоренного времени;
- полное протоколирование работы системы, возможность воспроизведения любого сеанса работы.

Созданный компьютерный тренажерный комплекс является эффективным средством подготовки и аттестации операторов, управляющих технологическим процессом уничтожения химического оружия, так как позволяет:

- осуществлять адекватное моделирование технологического процесса уничтожения химического оружия;
- проводить компьютерные эксперименты для исследования различных режимов работы оборудования и анализа аварийных ситуаций;
- исследовать физическую сущность протекающих процессов, их взаимную зависимость;
- создавать эффективные многоуровневые системы управления на основе анализа различных алгоритмов управления;
- формировать и постоянно поддерживать квалификацию и навыки действий операторов.

¹ *Компьютерный тренажерный комплекс для обучения персонала центрального пульта управления объекта уничтожения химического оружия / А. Ю. Уткин, В. Г. Лебедев, Н. А. Костикова и др. // Проблемы управления. — 2005. — № 1. — С. 56–61.*

☎ (095) 334-92-31

E-mail: valya@ipu.ru



Лучшая книга

Цыганов В.В., Бородин В.А., Шишкин Г.Б. Интеллектуальное предприятие: механизмы овладения капиталом и властью (теория и практика управления эволюцией организации). — М.: Университетская книга, 2004. — 770 с.

Изложены основы теории управления эволюцией организации и описаны ее практические применения. Разработана система прогрессивных адаптивных механизмов и их упрощенных моделей — архетипов овладения капиталом и властью. Комбинации этих механизмов и архетипов применяются для анализа и проектирования комплексных систем управления эволюцией социально-экономических систем разной природы и масштаба — от предприятия и корпорации до государства и мирового сообщества. Проанализированы архетипы и механизмы глобализации и российской эволюции. Развита концепция интеллектуального предприятия как центра капитала, основанного на самоорганизации и адаптации. Разработаны адаптивные механизмы функционирования цикла "исследование — производство", самоорганизации бизнеса, логистики, управления качеством и корпоративного управления.

В рамках конкурса "Лучшие книги" Ассоциация книгоиздателей России удостоила книгу дипломом как не имеющую аналогов в современной литературе.

Владимир Викторович Цыганов — д-р техн. наук, автор более 200 научных работ, сотрудник РАН. Результаты его исследований и разработок успешно внедрены в системах управления эволюцией организаций разной природы и масштаба — от промышленного предприятия и банка до отраслей промышленности, силовых структур, национальной экономики и мирового сообщества.

Владимир Алексеевич Бородин — д-р техн. наук, генеральный директор Экспериментального завода научного приборостроения РАН (ЭЗАН). Автор более 130 научных работ и изобретений. Заведующий лабораторией Института физики твердого тела РАН.

Геннадий Борисович Шишкин — канд. техн. наук, заместитель генерального директора ЭЗАН. Окончил экономический факультет МГУ, автор более 20 научных работ в области организации, планирования и управления производством.