



МЕТОД РЕАЛИЗАЦИИ ТРЕНИРОВОЧНЫХ УПРАЖНЕНИЙ В КОМПЬЮТЕРНОМ ТРЕНАЖЕРНОМ КОМПЛЕКСЕ¹

Е.Л. Кулида

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

Предложен метод, позволяющий автоматизировать процесс обучения и проверки знаний обучаемых, а также создавать и редактировать тренировочные упражнения в процессе эксплуатации компьютерного тренажерного комплекса.

ВВЕДЕНИЕ

Основным средством обучения операторов на компьютерном тренажерном комплексе (КТК) служат тренировочные упражнения. Кроме того, они являются средством накопления опыта инструктора, приобретаемого в процессе компьютерного тренинга, поэтому инструктору необходимо предоставить возможность создания и редактирования тренировочных упражнений.

Для потенциально опасных производств многие технологические процедуры, например, запуск технологических узлов, штатное ведение технологических операций, выход из аварийных ситуаций, жестко регламентированы. Обучаемому необходимо освоить основные регламентированные процедуры, которые должны выполняться в строгом соответствии с должностными инструкциями. Тренировочные упражнения для этого этапа обучения состоят из последовательности шагов, которые известны и должны выполняться в определенном порядке.

В настоящей статье предлагается метод реализации тренировочных упражнений, основанный на разделении их информационных структур от алгоритма автоматического обучения. Создание тренировочных упражнений в виде информационных структур позволяет добавлять новые упражнения и изменять имеющиеся упражнения в процессе эксплуатации КТК посредством соответствующих инструментальных средств. Трудность заключается в том, что ход выполнения трениро-

вочного упражнения существенно зависит от состояния технологического процесса, которое в свою очередь существенно зависит от действий обучаемого. Преодоление этой трудности связано с использованием в информационных структурах тренировочных упражнений функций, характеризующих состояние технологического процесса. Постоянный пересчет этих функций при выполнении упражнения позволяет анализировать достигнутые обучаемым результаты и реализовать алгоритм автоматического обучения.

1. РЕЖИМЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕНИРОВОЧНЫХ УПРАЖНЕНИЙ

В процессе обучения на рабочем месте обучаемого воссоздается рабочее место оператора, управляющего технологическим процессом. Обучаемый может наблюдать за ходом технологического процесса, «перемещаться» по мнемосхемам технологического процесса, воздействовать на технологический процесс: открывать и закрывать клапаны, включать и выключать устройства и т. д.

В процессе компьютерного тренинга обучаемый должен научиться:

- оценивать состояние контролируемого технологического процесса и распознавать отклонения от нормального функционирования;
- прогнозировать последствия управляющих воздействий и внешних факторов;
- находить причины неисправностей;
- планировать действия по реализации типовых операций и принимать решения при возникновении нештатных ситуаций.

Для автоматизации процесса обучения и контроля знаний предусматриваются различные режи-

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, прект № 06-08-01547-а.

мы выполнения тренировочных упражнений: демонстрационный, когда КТК показывает обучаемому ход выполнения тренировочного упражнения; тренировочный, когда на каждом шаге КТК выдает обучаемому подсказки; режим проверки знаний и режим повторного воспроизведения ранее выполненных упражнений.

Выполнение упражнений в демонстрационном или тренировочном режиме предполагает, что для каждого шага упражнения специалистами-технологами разработана последовательность действий, позволяющая выполнить поставленную задачу. Эту последовательность действий КТК показывает обучаемому (в качестве возможного способа достижения поставленной цели) при выполнении тренировочных упражнений в демонстрационном режиме. В режиме проверки знаний предлагаемая последовательность действий не является обязательной, от обучаемого требуется перейти из исходного состояния технологического процесса в требуемое состояние, соблюдая при этом регламентированную последовательность шагов.

При выполнении упражнений в демонстрационном или тренировочном режиме предполагается выведение на экран большого количества справочной информации для помощи обучаемому. Однако включение такой информации в информационную структуру тренировочного упражнения привело бы к многократному дублированию информации в тех случаях, когда в различных тренировочных упражнениях используются одни и те же технологические узлы или устройства, и затруднило бы формирование новых тренировочных упражнений. Поэтому вся справочная информация, необходимая в процессе выполнения тренировочных упражнений, хранится в информационно-справочной системе КТК. Она включает в себя информацию о технологическом регламенте, об аварийных и нештатных ситуациях, о технологических узлах, инструкции по рабочим местам. В информационно-справочной системе для каждого технологического устройства хранится информация:

- об особенностях запуска в работу, функционирования и остановки;
- об особенностях управления устройством;
- о штатных, предаварийных, аварийных диапазонах изменения технологических параметров, связанных с устройством;
- о возможных неисправностях и путях их устранения;
- о различных графических представлениях устройства, о расположении изображения устройства на мнемосхемах технологического процесса и др.

В процессе обучения по тренировочным упражнениям справочная информация выводится на экран автоматически в демонстрационном режиме, в случае грубых ошибок пользователя, при наруше-

ниях технологического регламента или по запросу обучаемого. Объем информации, предоставляемой пользователю, зависит от режима выполнения тренировочного упражнения.

Для случаев, когда обучаемый успешно (с его точки зрения) выполняет упражнение, но не получает от системы сообщения об успешном завершении выполнения упражнения, и для других спорных случаев предусмотрен режим повторного воспроизведения ранее выполненных упражнений на основе протокола работы КТК. В этом режиме на экран выводится информационное сообщение по завершению каждого шага упражнения. Таким образом, обучаемый легко может понять, какой шаг упражнения не был принят системой, и на основе анализа состояния технологического процесса может сам или с помощью инструктора выяснить, почему это произошло.

2. МЕТОД РЕАЛИЗАЦИИ ТРЕНИРОВОЧНЫХ УПРАЖНЕНИЙ

Основой КТК для обучения операторов, управляющих сложным технологическим процессом, служит математическое моделирование технологического процесса. Для реализации автоматического обучения одновременно должны выполняться программа, реализующая математическое моделирование технологического процесса, и программа автоматического обучения.

Программа автоматического обучения:

- отображает технологический процесс на экране в соответствии с состоянием математической модели технологического процесса и передает информацию об управляющих воздействиях пользователю математической модели;
- оценивает действия обучаемого и отображает учебную и справочную информацию, включая подсказки, информацию об ошибочных действиях, сообщения об успешном завершении тренировочных упражнений и другую информацию в соответствии с выбранным режимом обучения и тренировочным упражнением;
- заносит информацию о процессе обучения в базу данных, протоколирует процесс обучения, автоматически оценивает выполнение тренировочных упражнений.

Реализация алгоритма обучения зависит от состояния моделируемого технологического процесса, а математическое моделирование проводится с учетом управляющих воздействий пользователей, регистрируемых программой автоматического обучения. Для обмена информацией между математической моделью и программой автоматического обучения реализована информационная модель технологического процесса. Схема информационного обмена в процессе обучения представлена на третьей странице обложки.



Информационная модель технологического процесса $M(t) = ((m_1(t), \dots, m_k(t)))$, где $m_i(t)$, $i = 1, \dots, k$ — параметры, отражающие состояние математической модели в текущий и прошедшие моменты времени, а также информацию об управляющих воздействиях пользователя. Принципиально, что если моделирование начинается при некотором фиксированном состоянии информационной модели, то состояние моделируемого технологического процесса воспроизводится однозначно. Это достигается путем включения в информационную модель истории значений параметров, отражающих динамику моделирования [1, 2].

Заданием точных значений параметров информационной модели можно точно определить состояние технологического процесса, а заданием логических условий для переменных информационной модели определяется допустимый диапазон его состояний.

Предлагаемый метод формирования и реализации алгоритма выполнения тренировочных упражнений базируется на использовании логических функций над параметрами информационной модели. Эти функции формируются на основе информации, имеющейся в информационной структуре тренировочного упражнения, и используются при реализации алгоритма обучения для осуществления связи между состоянием моделируемого процесса и продвижением выполнения тренировочного упражнения.

При формировании информационной структуры тренировочного упражнения должны быть заданы:

- описание исходного состояния моделируемого процесса;
- цель упражнения — результат, который должен быть получен обучаемым;
- описание шагов упражнения — последовательности действий, позволяющей достичь поставленную цель;
- рекомендуемое время выполнения упражнения (для формирования оценки).

Состояние каждого технологического устройства в зависимости от его типа характеризуется определенным набором параметров. Например, состояние химического реактора в момент времени t характеризуется давлением и температурой в реакторе, весом и уровнем реакционной массы, расходом азота и др. Стадии технологического процесса и технологические рамки штатного функционирования, диапазоны допустимых значений параметров для устройства на каждой стадии определены технологическим регламентом и могут быть заданы в виде логических условий, включающих в себя сравнения параметров информационной модели технологического процесса с известными величинами. Могут быть определены такие логические условия и для совокупности технологических

устройств, образующих узлы технологического процесса.

Логическим условием штатного функционирования подсистемы P на заданной стадии S технологического процесса будем называть логическую функцию $F_P^S((m_1(t), \dots, m_k(t)))$ такую, что $F_P^S((m_1(t), \dots, m_k(t))) = true$, если для заданной стадии S выполняются все регламентированные технологические нормы и все технологические параметры находятся в допустимых пределах, $F_P^S((m_1(t), \dots, m_k(t))) = false$ в противном случае. Во время проведения той или иной технологической операции постоянной проверкой условий штатного функционирования обеспечивается контроль состояния системы.

Предположим, тренировочное упражнение связано с какой-либо технологической операцией, относящейся к стадии S технологического процесса. Для реализации автоматического процесса обучения необходима следующая информация:

- начальное состояние информационной модели технологического процесса $M^* = (m_1^*, \dots, m_k^*)$, которое загружается в нее в момент t_0 начала выполнения упражнения;
- логическое условие штатного функционирования технологического процесса во время выполнения упражнения

$$F_0((m_1(t), \dots, m_k(t))) = F_1^S((m_1(t), \dots, m_k(t))) \& \dots \& F_p^S((m_1(t), \dots, m_k(t))), \quad (1)$$

где $p = 1, \dots, P$ — узлы технологического процесса, которые должны функционировать во время проводимой технологической операции;

- логическое условие завершения выполнения n -го шага тренировочного упражнения $F_n((m_1(t), \dots, m_k(t)))$, $n = 1, \dots, N$, где N — число шагов упражнения.
- цель упражнения, которая задается логическим условием завершения выполнения последнего шага упражнения $F_N((m_1(t), \dots, m_k(t)))$.

Для тренировочного упражнения, информационная структура которого включает в себя эти элементы, реализация алгоритма его выполнения достаточно очевидна (подробности реализации различных режимов выполнения тренировочных упражнений рассматривать не будем):

1) перед началом выполнения тренировочного упражнения в информационную модель технологического процесса загружается начальное состояние $M(t_0) = (m_1(t_0) = m_1^*, \dots, m_k(t_0) = m_k^*)$;

2) на каждом такте функционирования КТК для текущего n -го шага тренировочного упражнения вычисляется функция завершения шага $F_n((m_1(t), \dots, m_k(t)))$, $n = 1, \dots, N$ (параллельно рабо-

тающий блок математического моделирования технологического процесса постоянно обновляет значения параметров информационной модели технологического процесса $m_1(t), \dots, m_k(t)$;

3) в момент времени t_n такой, что:

$$F_n((m_1(t), \dots, m_k(t))) = true \& F_n((m_1(t), \dots, m_k(t))) = false \forall t: t_{n-1} \leq t < t_n,$$

происходит переход к $(n + 1)$ -му шагу упражнения, $n = 1, \dots, N - 1$;

4) упражнение считается успешно выполненным в момент времени t^* такой, что:

$$F_N((m_1(t^*), \dots, m_k(t^*))) = true \& F_N((m_1(t), \dots, m_k(t))) = false \forall t: t_{N-1} \leq t < t^*;$$

в этот момент КТК формирует оценку за выполненное упражнение, информация о выполнении протоколируется и упражнение завершается.

Обучаемый может выполнять любые действия, но переход к следующему шагу тренировочного упражнения произойдет в том и только том случае, если будет получено такое состояние технологического процесса, при котором выполнится логическое условие завершения предыдущего шага. В режиме проверки знаний переход от шага к шагу не заметен для обучаемого, однако для успешного завершения выполнения упражнения система должна зафиксировать последовательное завершение выполнения всех шагов упражнения. Если обучаемому не удается завершить выполнение тренировочного упражнения в режиме проверки знаний вследствие неправильных действий, то он может сначала выполнить это упражнение в демонстрационном или тренировочном режиме, а потом снова вернуться к режиму проверки знаний.

На практике задавать логическое условие завершения выполнения для каждого шага в виде функции, зависящей от переменных информационной модели, было бы слишком обременительно ввиду большого числа параметров информационной модели. Однако на каждом шаге тренировочного упражнения изменяется небольшое число параметров и требуется достижение ими точно определенных значений. Имея такую информацию, условия завершения шагов упражнений можно формировать автоматически.

Таким образом, предлагаемый метод реализации тренировочных упражнений заключается в:

1) отделении информационной структуры тренировочного упражнения от алгоритма автоматического обучения;

2) формировании информационной структуры упражнения, в которой для каждого шага определяются контрольные параметры, значения которых должны измениться по сравнению с предыдущим шагом, и их новые значения;

3) автоматическом формировании логических условий завершения шагов на основе информаци-

онной структуры тренировочного упражнения: для первого шага — из логического условия штатного функционирования (1), для следующих шагов — из логического условия завершения предыдущего шага;

4) пересчете логических условий завершения шагов упражнения для автоматического перехода к очередному шагу в процессе выполнения упражнения.

Условие штатного функционирования всех вспомогательных систем задается в логическом условии штатного функционирования (1) и, следовательно, будет отражено в условиях завершения всех шагов упражнения. Таким образом, возникновение неполадок в любой части системы не позволит перейти к следующему шагу тренировочного упражнения или закончить выполнение упражнения до тех пор, пока неполадки не будут устранены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод был применен в компьютерном тренажерном комплексе для обучения операторов, управляющих технологическим процессом уничтожения химического оружия [3], разработанном для учебного центра ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт органической химии и технологий» и Саратовского военного института радиационной, химической и биологической защиты.

Метод позволяет автоматизировать обучение для хорошо изученных технологических операций, когда можно сформировать функцию завершения каждого шага создаваемого тренировочного упражнения. В менее изученных случаях и экспериментах с разными вариантами управления обучаемым необходима помощь инструктора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулида Е.Л., Лебедев В.Г. Модели компьютерного тренажерного комплекса для обучения операторов объекта уничтожения химического оружия // Проблемы управления. — 2005. — № 6. — С. 69–72.
2. Computerized simulator for training the operators of facilities for destruction of chemical weapons / V.G. Lebedev, Yu.S. Legovich, E.L. Kulida and D.B. Rozhdestvenskii // 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM 2006). — Saint-Etienne, 2006. — Vol. 2. — P. 771–776.
3. 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.

☎ (495) 334-92-49, e-mail: lenak@ipu.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии Э.Л. Ицковичем. □