

УДК 76.01.85

А. В. Денисенко

Одесская национальная академия пищевых технологий
ул. Канатная, 112, 65039 Одесса, Украина
e-mail: Denisenko_1965@mail.ru

Структурно-аналитическое моделирование и анимация технологических процессов в инженерно-технических комплексах

Для сложных инженерно-технических комплексов (ИТК) характерно изменение во времени значений влияющих параметров (температуры, уровней, давления, расхода, скорости перемещения и др.), которые заданы соответствующим вектором состояния. Тогда динамическая модель ИТК может быть представлена системой линейных (нелинейных) дифференциальных и алгебраических уравнений, последние для случая линейности передаточных функций. Сложные технические системы и комплексы обладают еще одной особенностью, связанной с такими понятиями как «условие» и «событие», которые могут иметь между собой определенные отношения. Математической и структурной формами моделируемой проблемной ситуации является аппарат сетей Петри, где условия моделируются позициями, а события — переходами.

Ключевые слова: инженерно-технические комплексы, дискретно-непрерывные сети и системы, сети Петри, Adobe Flash.

Введение. Актуальность исследования

При разработке моделирующих комплексов (МК), используемых, в частности, в качестве тренажеров при подготовке персонала предприятий, в лабораторном исследовании сложных технологических физико-химических процессов, учебно-исследовательской программе, при тестировании новых приемов или испытании элементов оборудования возникает характерная проблема отображения схемы, ее визуализации и анимации хода такого процесса. Такая разработка МК сопряжена с необходимостью решения сложных проблем. Это — подходы к выбору методологии и построению математической модели, ее программной реализации, документированию, отладке и пробной эксплуатации.

В статье речь идет о разработке МК, используемом в учебно-исследовательском процессе технологического ВУЗа, где существенную роль приобретает стоимостный аспект, связанный с тиражированием образцов МК, приобретением

© А. В. Денисенко

и сопровождением лицензированных программных продуктов, используемых в составе оборудования, которым оснащены лаборатории учебных заведений и производственных участков. В работе обзорного характера отмечены пути и способы построения такого моделирующего комплекса, где удалось решить указанные проблемы и внедрить разработанный МК в учебный процесс.

Постановка проблемы и ее решение

На этапе построения структурно-аналитической модели исследуемого процесса решена проблема определения последовательности реализации событий и ее отображения в виде последовательного срабатывания ее переходов. Например, выполнение какого-либо технического или технологического условия связано с появлением метки в соответствующей этому условию позиции используемой сетевой модели, например, «кнопка Пуск «нажата» или электродвигатель Э-1 «включен». При этом в сетевой модели будут отмечены маркеры в конкретных позициях сети, а при условии, например, что в нагревателе включено три горелки, состояние изменяется, т.е., в позиции p_e^d будет три маркера. Соответствующий вектор пространства состояний ИТК в этом случае будет представлен в виде

$$x(t) = (x^c(t), x^d(t))^T,$$

где $x^d(t) = (\mu(p_1^d), \mu(p_2^d), \dots, \mu(p_e^d))^T$.

Динамическая составляющая технической системы представлена математической схемой дискретно-непрерывной (ДН) системы с управляемым набором подсистем и соответствующей организационной структурой. В этой схеме представлены два основных среза технической системы:

1) теоретико-множественное отображение дискретно-непрерывной системы с управляемой структурой на основе аппарата дискретно-непрерывного сетевого моделирования (ДН-сети);

2) абстрактно-алгебраическое отображение в гибридном пространстве состояний с использованием предложенных автором уравнений состояний и выхода, с интерфейсом между двумя этими формами.

В основу системно-аналитической модели инженерно-технологического комплекса (ИТК) положен пакет режимов (ситуаций), при этом считается, что все многообразие функционирования ИТК определено:

- совокупностью целей управления: G_1, G_2, \dots, G_r ;
- определением множества состояний модели ИТК;
- принятием рациональных решений по управлению ИТК согласно поставленным целям.

Каждой цели управления ИТК соответствует некоторое подмножество заданного множества состояний системы — одноцелевых состояний. Разработка программы управления состояниями ИТК осуществляется с целью перевода системы из некоторого текущего состояния в одно из ее одноцелевых состояний в течение заданного интервала времени с использованием модели процессов штатного функционирования.

Теоретико-множественное отображение ИТК стало возможным за счет объединения средств дифференциальной динамики (в виде системы дифференциальных уравнений) и отображения начальных событий графом и расширенным представлением сети Петри [1].

Существенно, что языковые и алгебраические средства дискретно-непрерывных сетей позволяют изменять структуру и состав технической системы («открывать-закрывать» вентиль или заслонку, «включить-выключить» транспортер и др.), а также операции взаимодействия подсистем.

Новизна

Предложено отображать ДН-сети путем объединения модифицированного сигнального графа (представляющего непрерывно-событийную часть ИТК) с расширенной сетью Петри с использованием разработанного интерфейса. Созданная визуализированная и анимационная программная среда технологического моделирования позволяет редактировать и модифицировать математическую модель ИТК, вносить изменения в параметры блоков, устанавливать начальные значения и изменять маркировки ДН-сети и, тем самым, моделировать исследуемые технологические процессы проведением экспериментов на разработанном МК.

Отмечено, что с разработкой теоретических основ моделирования ИТК и программной среды моделирования одновременно и целенаправленно создана интегрированная анимационная среда, сформированная объединением визуализированной среды моделирования ДН-сети и встроенных средств Adobe Flash [2]. Для того чтобы создать и подготовить Flash-графику для представления технологических свойств системы с учетом непрерывных изменений во времени параметров (температуры, давления, уровней, скорости движения и др.), использована математическая модель в виде вектора описания изменений состояний входного управляющего воздействия. Отметим, что Adobe Flash — именно та платформа, которая обеспечивает обработку различных видов данных с помощью языка программирования Action Script 3.0 для решения задач отображения динамических данных, изображения, аудио и видео [3].

Методологическое и прикладное значение

Разработка компьютерных ситуационных тренажеров с использованием мультимедийных технологий в среде Flash позволяет реализовать практически любые по сложности эксперименты с оборудованием и воспроизвести методики обработки любых внештатных ситуаций. При этом не исключено, что придется пойти на незначительные дополнительные расходы, если использовать для разработки динамических моделей сложного технологического оборудования язык Action Script 3.0, средствами которого управляют событиями. Сценарный подход этого языка: если есть событие, то должен быть соответствующий обработчик события. Основным состоянием сетей Петри является событие, обрабатываемое обработчиком событий. Для формализованного представления сетей Петри используется двудольный граф, где используются переходы двух типов. Приведем пример, который иллюстрирует, что среда DCNET также позволяет управлять событиями.

На рис. 1 представлена модель участка цеха, содержащего установки I (p_1^1, t_1^1, p_2^1) и II (p_3^1, t_1^3, p_4^1). Реализация алгоритма «включить-выключить» в виде перехода $t_i^3 \in T^3$ может быть выполнена различными способами. Так, при необходимости увеличения производительности установка II может быть «включена» на определенный интервал времени, а затем «выключена», в частности, ими могут быть установки по фильтрации вина, соков и др., где важны подобные технологические и временные приемы. Переходы t_1^1 и t_1^3 помечены коэффициентами передачи соответственно k_1 и k_2 .

На рис. 2 отображено состояние, которое соответствует маркировке

$$M_0 = (\mu(p_1^1), \mu(p_2^1), \mu(p_3^1), \mu(p_4^1), \mu(p_5^1), \mu(p_1^2), \mu(p_2^2)) = (6, 6, 6, 0, 6, 1, 0),$$

при этом общая производительность равна: $y(t) = k_1 U_1$.

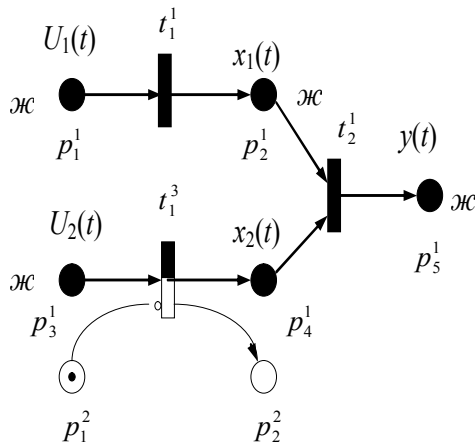


Рис. 1

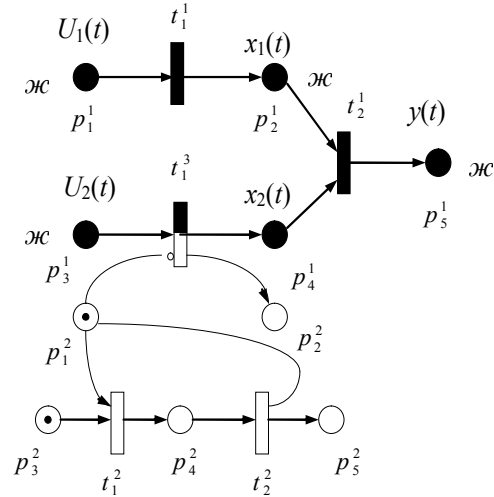


Рис. 2

Простейший алгоритм «включить-выключить» установку II изображен на следующих рисунках.

Начальная маркировка изображена на рис. 3. В данном состоянии может сработать переход t_1^2 , в результате получим состояние системы, изображенное на рис. 4. В этом состоянии переход t_1^3 «включен», работают параллельно две установки (наличие метки в позиции p_2^2 говорит о том, что установка II «включена»), и общая производительность равна: $y(t) = k_1 U_1(t) + k_2 U_2(t)$. По истечении времени задержки τ сработает переход t_2^2 , состояние системы будет иным, и т.д.

Следует обратить внимание, что если по каким-либо причинам в определенной позиции число меток будет равно нулю, при отборе метки переход не «включится». В этом случае не будет получен признак выполнения команды, тогда не будет продолжена реализация алгоритма, и система перейдет в исходное состояние.

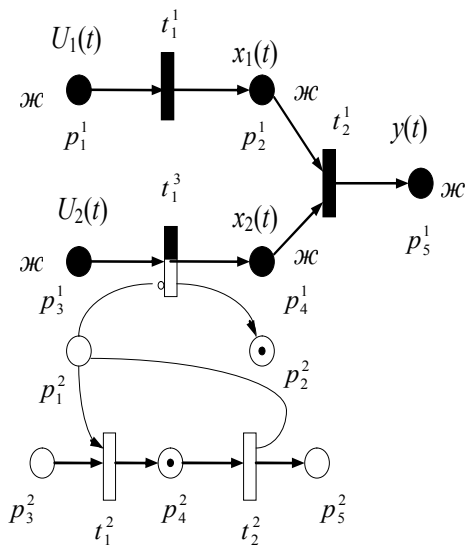


Рис. 3

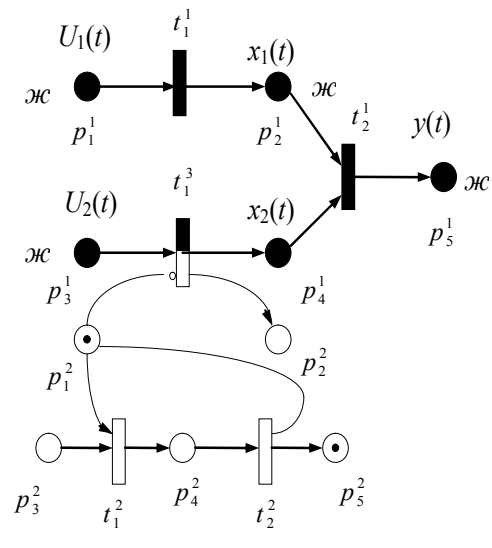


Рис. 4

Представление ДН-сети в виде двудольного графа позволяет задать структуру ДН-сети при всех «замкнутых» связях между элементами сети. Динамика в модели вносится механизмом смены маркировки (разметки) позиций и соглашением о правиле срабатывания (возбуждения) переходов различных видов. Для ДН-сети, кроме динамики, свойственной непрерывным системам и событийной динамике, существенным свойством является структурная динамика и образование связей между позициями p_i^1 и переходами t_i^1 на конечном интервале времени за счет механизма смены маркировки, обеспечивающего включение-отключение переходов. При этом часть вектора состояния изменяется непрерывно во времени, другая часть принимает значения из некоторого дискретного множества.

Отмечено, что если расчетная часть моделирования ИТК осуществляется с применением языка Action Script 3.0, который по своей сложности относится к классу языков типа Си, требующего привлечения высококвалифицированных специалистов, то рациональнее заменить Action Script 3.0 на программную среду DCNET, которая функционирует как доступный для рядового пользователя графический редактор, обеспечивая этапы набора, редактирования, моделирования и визуализации, и тогда преимущества этой замены очевидны для использования предложенной информационной технологии для построения обучающих систем. Ведь инженерное образование имеет определенную специфику, которая, в отличие от гуманитарного, заключается в необходимости закрепления теоретического материала приобретением навыков практического умения профессиональной работы, что возможно лишь при выполнении практических занятий на соответствующем технологическом оборудовании или его аналогах. Применение интегрированной среды DCNET-Flash как средства проектирования и обучения позволяет создавать виртуальное оборудование, по своим возможностям достаточно близкое к реальным производственным установкам, где можно проводить эксперименты для имитации нештатных ситуаций и в разработанном МК для этого предусмотрены дополнительные, в частности, анимационные возможности.

Технология создания анимации ИТК описана на примере анимации процесса производства поливинилхлорида. Технические требования к системе анимации — обеспечить анимационное отображение изменения:

- показаний расходов 1-го и 2-го реагентов с использованием стрелочного расходомера;
- показаний температуры T11 в реакторе и T12 в кожухе реактора с использованием ртутного термометра;
- состояния оборудования, например, вентилях V1.1–V1.4, насоса P1, мешалки M1;
- положения уровня в реакторе, для наглядности необходимо «вырезать» часть реактора, при этом электронная модель оборудования должна быть максимально реалистичной.

Пример. Анимация технологического процесса производства поливинилхлорида (ПВХ).

Установка для производства ПВХ состоит из двух одинаковых реакторов.

Назначение основных блоков установки:

- электродвигатель M1 является приводом смешивающего устройства;
- вентили V1.1 и V1.2 предназначены для заполнения реактора растворенными в воде винилхлоридом и катализатором; V1.3 используется для опорожнения реактора по окончании реакции, вентиль V1.4 и насос P3 предназначены для снижения давления в реакторе. Насос P1 обеспечивает протекание охлаждающей жидкости через кожух реактора;

— датчики FQ1 и FQ2 измеряют потоки реагентов, датчики LC1 и LC2 измеряют уровни реагентов в соответствующих емкостях. Регуляторы температуры TC1 и TC2, регулятор давления PC1, задающие устройства W1–W3 и Wp, вентили FI1.1, FI1.2 и датчики TC1.1, TC1.2 и PC1 образуют контур каскадного регулирования температуры или давления (в зависимости от положения переключателя S2).

Описание фрагмента технологического процесса производства ПВХ:

— исходное состояние: все вентили закрыты, смешивающее устройство и насосы отключены, реактор пустой, резервуары для реагентов (растворенный в воде винилхлорид и катализатор) заполнены;

— дозировка реагента 1 (измеряется с помощью FQ1): как только уровень достигает определенного, заранее установленного значения (измеряется с помощью LI 1), включается смешивающее устройство;

— включается подогрев оболочки реактора для подогрева реагента 1 до температуры $W1 = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ (регулируется с помощью каскадно-включенных регуляторов TC1 и TC2, выход регулятора TC2 воздействует на вентиль FI 1.1.);

— по достижении температуры $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ включается насос P3 для снижения давления воздуха и газов, выделяющихся при нагревании;

— при достижении определенного значения давления выключается насос. Включается новый насос с задатчиком $W2 = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$. При достижении температуры $W2$ начинается заполнение реактора реагентом 2 (измеряется с помощью FQ2);

— начинается экзотермическая реакция. Выход TC2 переключается на вентиль FI1.2 (охлаждение) для поддержки температуры $W2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и т.д.

На рис. 5 показана схема автоматизации реактора этого процесса, на рис. 6 — окно передачи данных параметрического XML-файла, на рис. 7 — динамическая модель реактора.

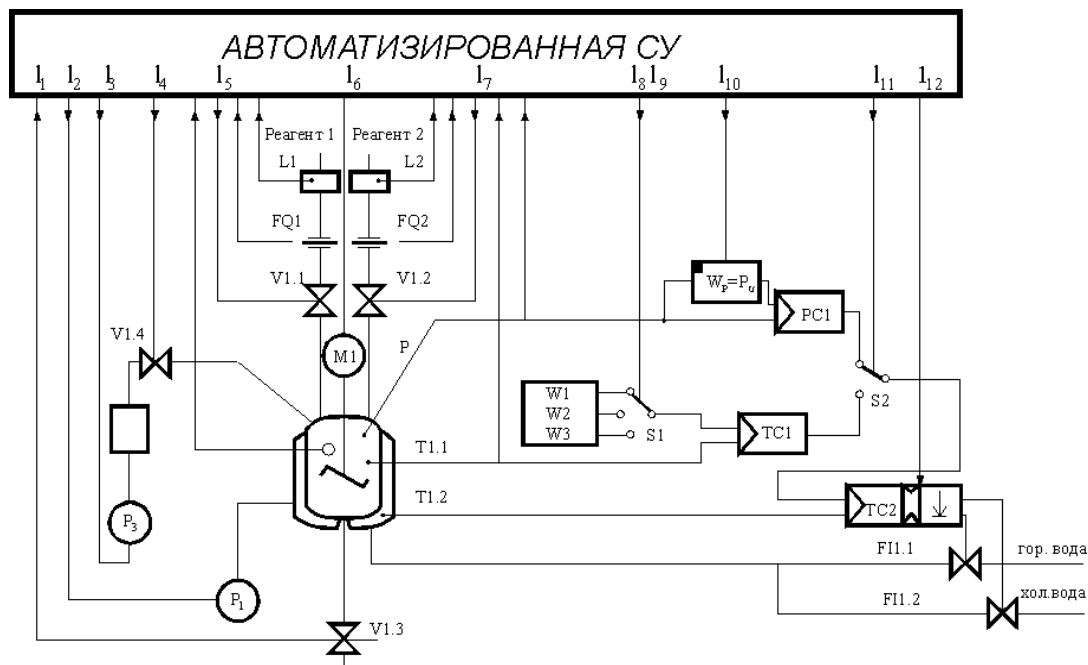


Рис. 5

Дискретно - Непрерывные Сети - [Flash анимация]

Файл Редактирование Режим Моделирование Настройки Окна Помощь

№	Тип Элемента	Имя Элемента	Число Парам	Тип Парам	Имя Парам	Вывод Парам	Тип Парам	Имя Парам	Вывод Парам	Тип Парам	Имя Парам
1	типез	ventil	3	onoff		p/2/43	named	v11		типез	ven
2	типез	ventil	3	onoff		p/2/44	named	v12		типез	ven
3	типез	ventil	3	onoff		p/2/45	named	v13		типез	ven
4	типез	ventil	3	onoff		p/2/47	named	v14		типез	ven
5	типез	ventil	3	onoff		p/2/48	named	f11		типез	ven
6	типез	ventil	3	onoff		p/2/49	named	f12		типез	ven
7	типез	pump	3	onoff		p/2/50	named	p1		типез	ven
8	типез	pump	3	onoff		p/2/47	named	p3		типез	ven
9	типез	mainbak	4	maxlev	1		named	reaktor_and_		nowlev	
10	типез	submainbak	4	maxlev	3		named	reaktor_and_		nowlev	
11	типез	motor	2	roff		p/2/51	типез	motor			
12	типез	gauge	3	len		p/1/47	named	gauge1		типез	gau
13	типез	gauge	3	len		p/1/49	named	gauge2		типез	gau
14	типез	temph	3	len		p/1/30	named	temph1		типез	tem
15	типез	temph	3	len		p/1/28	named	temph2		типез	tem

Задержка моделиров: 5

Открыть XML

Сохранить XML XMLSaveSta

Автоматическое обновление XML

Число элементов: 15

Рис. 6

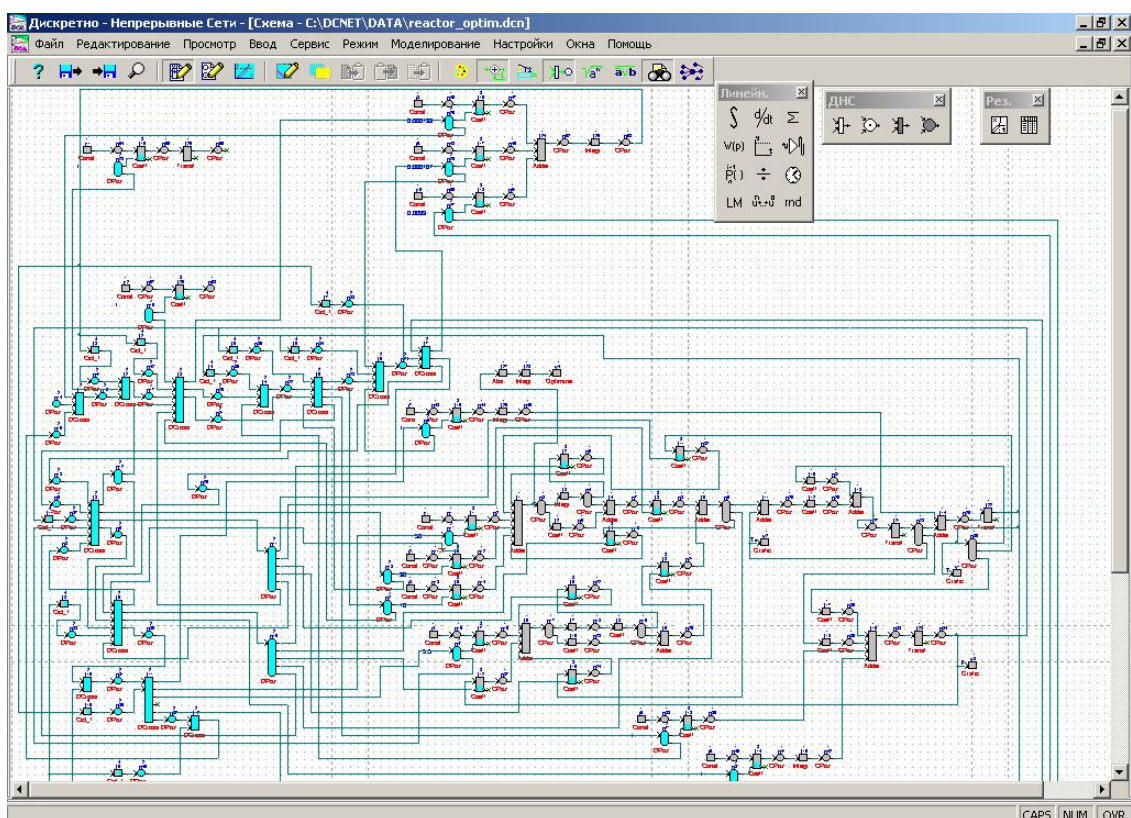


Рис. 7

ВЫВОДЫ

Разработанный МК, который успешно эксплуатируется в ряде отечественных ВУЗов, отражает требования, выдвигаемые при построении обучающего оборудования типа тренажеров для подготовки персонала технологического оборудования в условиях их массового использования. Решены проблемы, связанные со снижением затрат, связанных с приобретением стандартных средств, специальные технические вопросы, процедуры алгоритмизации и их программной реализации выполнены автором.

1. Петерсон Дж. Теория сетей Петри в моделировании и управлении / Дж. Петерсон; пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 264 с.
2. Vardan M. Handbook of Research on Estimation and Control Techniques in E-Learning Systems / M. Vardan. — IGI Global, 2016. — 979 p.
3. Бангал Ш. ActionScript. Основы / Ш. Бангал; пер. с англ. — СПб: Символ-Плюс, 2002. — 480 с.

Поступила в редакцию 02.06.2016