

УДК 621.039.4

## ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

А.В. АНДРЮШИН<sup>1</sup>, В.С. БАЛАКИРЕВ<sup>2</sup>, А.А. БОЛЬШАКОВ<sup>3</sup>

*Московский энергетический институт (технический университет)  
Красноказарменная, 17, Москва, 111250, Россия*

*Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова  
Трубецкая, 8, стр.2, Москва, 2119991, Россия*

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)  
Московский проспект, 26, Санкт-Петербург, 190013, Россия*

*Поступила в редакцию 4 января 2015*

При подготовке специалистов/магистров по автоматизации существенное внимание уделяется задаче обеспечения заданного уровня надежности проектируемых АСУ технологических/тепловых процессов. Эта задача связана с формированием у студентов следующих компетенций:

- анализ надежности программно-технических средств автоматики и локальных систем управления;
- синтез автоматизированных систем регулирования (АСР) и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) с желаемым уровнем надежности (в смысле коэффициента готовности и/или показателя эффективности системы).

Учебный процесс по формированию этих компетенций в рамках бакалавриата, а также магистратуры базируется на разработанном авторами учебно-методическом комплексе, содержащем теоретическую компоненту, обширный расчетно-лабораторный практикум и систему автоматизированного контроля знаний и умений. Рассмотрим кратко содержание этих компонент.

Лекционный курс базируется, в основном, на работах [1, 2] и содержит традиционные знания о допусковых отказах, числовых и функциональных показателях безотказности и восстановления элементов; о методах расчета безызбыточных и резервированных локальных систем (в т.ч. и АСР) при отказах типа «обрыв» и «короткое замыкание» (КЗ) при условии постоянства интенсивности отказов элементов, включая и объект управления (ОУ). Кратко рассматриваются алгоритмы синтеза резервированных систем минимальной сложности с желаемым уровнем надежности; достаточно подробно анализируется надежность программного обеспечения реального времени (ПО РВ); классифицируются ошибки и отказы ПО, вводятся характеристики надежности проектируемого и функционирующего ПО РВ, описываются способы повышения надежности программных систем на основе резервирования (временного, информационного, программного и программно-технического).

Существенной новизной лекционного курса является рассмотрение АСУ ТП как сложной системы с отсутствующим понятием отказа, допускающей описание ее стохастического поведения во времени марковской моделью. Такая система состоит из большого числа элементов с постоянными интенсивностями отказов и восстановлений  $\lambda$  и  $\mu$  и

может находиться в одном из состояний  $S_j(\lambda, \mu)$ ,  $j = 1, \dots, K$ , характеризуемыми числом и именами отказавших элементов (здесь  $K = 2^m$  – число состояний). Допускается (времененно) возможность переходов системы из любого  $S_j$  в любое состояние  $S_i$ ,  $i, j = 1, \dots, K$ ,  $i \neq j$  и обратно с интенсивностями  $\lambda_{ji}$  и  $\lambda_{ij}$ , при этом можно определять вероятности  $p_j(t)$  возникновения состояний на основе численного решения линейного векторного уравнения Колмогорова, или при  $\dot{p}(t) \approx 0$  – методом Монте-Карло. Далее, выбрав технико-экономический или информационный критерий качества работы АСУ ТП  $I(S)$ , зависящий от состояния  $S$ , можно ввести нормированный показатель эффективности.

$$\mathcal{E} = \frac{1}{I_1 T} \int_0^T I(S_j) \cdot P_j(t) dt = \frac{1}{I_1 T} \int_0^T I_j(S_j(\lambda, \mu)) \cdot P_j(t) dt,$$

Эффективность является косвенной мерой надежности сложной системы типа АСУ ТП. (Здесь  $I_1$  относится к полностью исправной АСУ ТП,  $T$  – директивный горизонт наблюдения.) Знание величины  $\mathcal{E}$  позволяет выбирать более надежную и эффективную (в смысле  $I$ ) систему из ряда аналогичных, а также повышать надежность АСУ ТП на основе увеличения  $\|\mu\|$ . Однако в реальных условиях рассмотренный метод можно применять при  $K \leq 1000$ , т.е. при  $m \leq 10$  (для одноконтурных АСУ  $m \approx 15 - 20$ , для АСУ ТП число  $m$  достигает нескольких тысяч).

Поэтому предлагаются следующие способы уменьшения размерности  $K$  задачи оценивания  $\mathcal{E}$ :

- эвристическое определение невозможных переходов из  $S_j$  в  $S_i$ ;
- формирование крупных не избыточных блоков с целью уменьшения числа  $m$  (например, блок – АСУ);
- введение понятия функционального состояния, характеризуемого числом отказавших функций АСУ ТП (в типовых АСУ число основных функций  $m_{\text{ф}} = 6$ , тогда  $K = 64$ );
- использование понятия критериального состояния, когда диапазон изменения  $I$  разбивается на 3 – 4 независимых интервала, и тогда  $m_{\text{кр}} = 3 - 4$ , а  $K = 8 - 16$ .

Расчетно-лабораторный практикум по надежности реализован авторами в двух компьютерных задачах, в первом из которых содержится  $\approx 50$  несложных задач по расчету надежности локальных безызыточных и резервированных систем (при этом каждая задача с трудоемкостью 10 – 15 мин. имеет 20 – 30 вариантов с различными исходными данными).

Второй задачник содержит 180 более сложных задач (с трудоемкостью 15 – 25 мин.) по расчету резервированных систем с полными и частичными отказами и синтезу минимально сложных систем с заданным уровнем надежности. Оба задачника поддерживают автоматическую оценку решения задач и обеспечивают работу на персональном компьютере или в локальной сети.

Контроль знаний студентов осуществляется с использованием авторской компьютерной системы тестирования, содержащей около 1500 тестов с 4 – 6 возможными вариантами ответов. Оценка векторных ответов проводится на базе встроенной экспертной системы.

Полный электронный учебный курс по надежности систем автоматизации включает четыре основных компонента: электронный учебник, тесты для самоконтроля, задачники и систему тестирования.

Каждый задачник выполнен в виде связанных с использованием VBScript HTML-страниц. Необходимость использования программной оболочки между содержанием задачника и пользователем обусловлена отсутствием механизма защиты версии HTML от копирования и чтения правильных ответов. Программная оболочка для защиты содержимого задачника выполнена с помощью RAD Delphi7. Принято решение об использовании компонент TWebBrowser, который позволяет технологии OLE использовать стандартный системный браузер. Содержимое задачника, т.е. набор HTML-страниц и скриптов, упакован в стандартные ресурсы Windows. Перед помещением содержимого задачника в ресурс производится шифровка данных. Для компонента TWebBrowser существует событие BeforeNavigate, возникающее в момент перехода по ссылке на следующую страницу. В момент перехода происходит чтение из ресурса с последующей дешифровкой и выводом в окно TWebBrowser.

Электронный учебник также выполнен на основе учебного пособия по надежности систем автоматизации [2]. Для визуализации содержимого учебника, в котором используется большое количество математических нотаций, выбран компонент для Delphi, позволяющий

отображать материал в RTF-формате, включающий графику и объекты Microsoft Equation. Предварительно текст электронного учебника разбит на части – «экраны», в соответствии с книжным постраничным разбиением. Навигация по учебнику производится клавиатурой и мышью. Формат RTF является универсальным и не содержит собственных средств сжатия. Объемы текста с разметкой, а тем более вложенных объектов, достаточно большие. Для хранения RTF-текстов также использовалось сжатие с помощью компонента ZipTV.

В настоящее время осуществляется модернизация системы, в т.ч. с использованием современных средств Интернет с применением возможностей облачных технологий, а также с созданием конструктора программных средств контроля знаний обучаемых. Это позволит облегчить доступ к системе пользователей и ее сопровождение.

#### Список литературы

1. *Ястребенецкий М.А., Иванова Г.М.* Надежность АСУ ТП. М., 1989.
2. *Балакирев В.С.* Надежность систем автоматизации. Саратов, 2006.

Библиотека БГУИР