

УДК 004.31

## Модели и методы интерпретации решения расчетных задач в среде web-обучения

Пантелеев Е.Р., д-р техн. наук, Карпов Я.Э., студ.

Предложена модель представления расчетной задачи в виде раскрашенной сети Петри. Обоснован выбор технологической платформы разработки и интерпретации предложенной модели. Рассмотрена архитектура программно-информационного комплекса описания и интерпретации решения, доступного для использования в любой операционной и программной среде. Приведен пример описания расчетной задачи и интерпретации процесса ее решения в среде web-обучения.

*Ключевые слова:* расчетная задача, модель, раскрашенная сеть Петри, web-обучение.

## Models and methods to interpreting the decision of the accounting problems in ambience web-education

Presentation model of the engineering calculation task in the form of colored Petri net is proposed. A choice of the technological basis for the implementation and interpretation of the proposed model which is accessible in any operation and programming environment is justified. Architecture of software and data complex for task definition and interpretation of its solution is considered. An example of task description and interpretation its solution process in web-learning environment is given.

*Keywords:* engineering calculation task, model, colored Petri net, web-learning.

**Введение.** Наиболее значимыми для успешной профессиональной деятельности инженера являются не разрозненные знания, а обобщенные умения, проявляющиеся в его способности выполнять операции, которые соотносятся не с объектом, а с задачей. Эти обобщенные умения принято называть компетенцией. Компетентность специалиста, или мера освоения им компетенции, рассматривается как наличие знаний и опыта, необходимых для эффективной деятельности в заданной предметной области. Поэтому оценка компетентности инженера предполагает оценку его умения решать профессиональные задачи.

Инженерная задача – законченная единица инженерной деятельности. Задача существует тогда, когда требуется перейти от одного состояния объектов предметной области к другому, если имеется более одного варианта перехода и не все возможные варианты очевидны [1]. Приведенное определение требует дальнейшей детализации для того, чтобы его можно было конструктивно использовать при создании компьютерных систем обучения. Во-первых, любая инженерная задача может быть представлена совокупностью более мелких единиц деятельности (это следует из наличия нескольких вариантов перехода из исходного состояния в целевое). Назовем такую единицу деятельности инженерной операцией и определим ее как элементарное действие по переводу объектов задачи из одного состояния в другое. Операция может заключаться в применении расчетного соотношения к переменным задачи, выполнении элементарных построений в инженерной графике, операций сборки машиностроительного изделия или оперативных переключений в энергоустановках. Во-вторых, на множестве операций задачи определено отношение частичного порядка. Это означает, что воз-

можность применения операций обусловлена текущим состоянием задачи. Например, расчет высоты подъема тела можно произвести только после того, как будет известна вертикальная составляющая скорости. Нельзя подавать напряжение на якорную обмотку двигателя с последовательным возбуждением, если отсутствует момент нагрузки на его валу. В общем случае возможно параллельное выполнение нескольких операций: для расчета высоты подъема тела после расчета вертикальной составляющей можно воспользоваться либо уравнением равноускоренного движения, либо законом сохранения энергии. В-третьих, возможны ресурсные ограничения на выполнение операции, например ограничение времени выполнения или ограничение на значения переменных. Таким образом, под инженерной задачей будем понимать задачу перевода объектов предметной области из заданного начального состояния в заданное конечное состояние путем применения к ним допустимых операций в допустимой последовательности и с учетом определенных для этих операций ограничений.

Разработка компьютерных обучающих систем для формирования навыков решения инженерных задач предполагает формализацию описания:

- 1) релевантных задаче объектов и операций предметной области;
- 2) самой задачи, включая:
  - а) содержательную составляющую (определение начального и конечного состояния задачи и допустимых вариантов преобразования первого состояния во второе; определение методов интерпретации и оценки действий пользователя и содержания учебных воздействий в контексте возможных состояний задачи и действий пользователя);

б) презентационную составляющую (определение формы визуализации состояний задачи и инструментов для изменения этого состояния пользователем; определение способов регистрации действий пользователя).

Сложность создания подобных систем определяет актуальность разработки повторно используемых компонентов описания инженерных задач. В то же время известные реализации подобных систем (Andes [2] – в области элементарной физики, SQL Tutor [3] – в области языка запросов SQL) используют модели, которые не выделяют инвариантные компоненты описания задачи, что и определяет актуальность исследований в этой области.

Ниже рассматриваются методы конструирования описания и интерпретации решения расчетных задач как частного случая задач инженерных, которые обеспечивают возможность повторного использования предложенных методов при создании компьютерных обучающих систем в любой программной и операционной среде.

**Математическая модель расчетной задачи.** Учитывая наличие двух компонентов описания расчетной задачи (объекты – переменные и операции – расчетные соотношения), а также возможность псевдопараллельного выполнения соотношений, переводящих переменные из одного дискретного состояния в другое, целесообразно использовать в качестве модели задачи раскрашенную сеть Петри (Colored Petri Net, CPN [4]):  $CPN = \{P, T, H, G, \mu\}$ ,

где  $P$  – множество позиций (переменных задачи);  $T$  – множество переходов (расчетных соотношений задачи);  $H : P \times T \rightarrow R_H$  – входная функция смежности позиций и переходов, которая определяет принадлежность переменных расчетным соотношениям;  $G : T \times P \rightarrow R_G$  – выходная функция смежности переходов и позиций, которая определяет переменные-результаты выполнения

операции;  $\mu : S \rightarrow P$  – функция разметки, отображающая множество значений  $S$  переменных задачи на множество позиций CPN.

Возможность применения расчетного соотношения в данной интерпретации совпадает с условием активности перехода (наличие значений переменных во всех входных позициях), а результат вычисления этого соотношения (новое значение переменной) приводит к изменению разметки CPN.

В качестве примера применения формализма CPN рассмотрим сетевое представление задачи расчета цепи синусоидального тока [5, задачи 3-9] (рис. 1). Данная сеть наглядно показывает связь между переменными и расчетными соотношениями задачи, а также допустимые последовательности выполнения расчета. В частности, расчет значений  $X_L$  и  $X_C$  может быть выполнен в любой последовательности, а расчет  $Z_{кам}$  – только после расчета  $X_L$ .

**Технологическая база реализации интерпретатора.** Повторное использование компонентов конструирования и интерпретации расчетных задач предполагает их встраивание в существующие и вновь разрабатываемые системы компьютерного обучения, а это становится возможным лишь при условии стандартизации программных интерфейсов и форматов представления расчетных соотношений.

Реализованная в рамках предлагаемого подхода идея стандартизации программного интерфейса web-приложений основана на использовании языка описания web-сервисов WSDL [6]. Для того чтобы клиент мог воспользоваться web-сервисом (по сути – глобально доступной библиотекой подпрограмм), ему достаточно иметь в своем распоряжении описание этого сервиса на языке WSDL и среду программирования, которая поддерживает вызовы web-сервисов (PHP, Java, ASP.NET, Delphi).

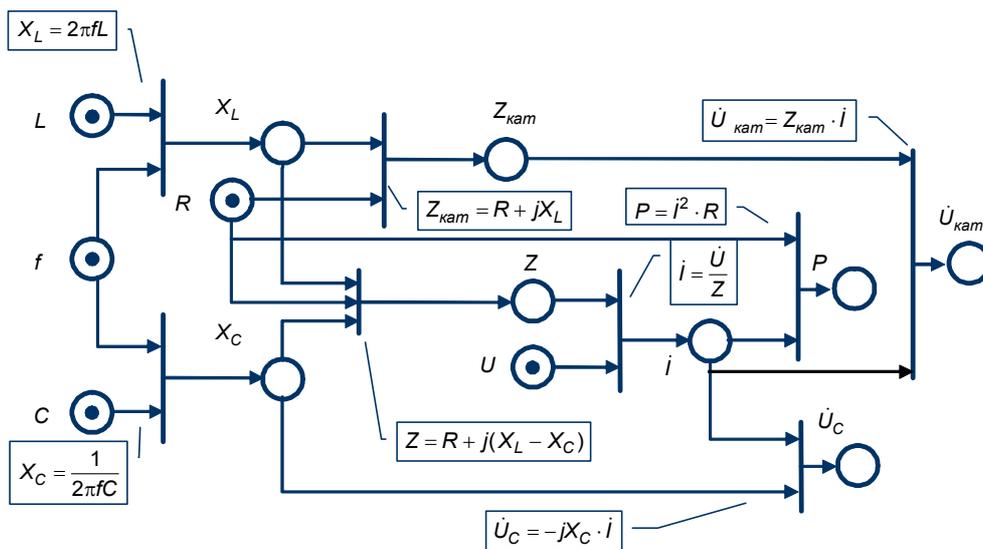


Рис. 1. Сетевая модель задачи расчета цепи синусоидального тока

Наиболее приемлемым средством стандартизации записи расчетных соотношений в web-приложениях является язык разметки математических выражений – MathML (<http://www.raleigh.ru/MathML/MathML2>). Он предоставляет как средства разметки представления, необходимые для визуального конструирования математических выражений, так и средства разметки содержания для интерпретации и вычисления этих выражений (см. таблицу).

### Разметка выражения $|I|^2 R$ в MathML

Разметка представления	Разметка содержания
<pre>&lt;math&gt;   &lt;mrow&gt;     &lt;mrow&gt;       &lt;msup&gt;         &lt;mo&gt; &lt;/mo&gt;         &lt;mi&gt;I&lt;/mi&gt;         &lt;mo&gt; &lt;/mo&gt;       &lt;/msup&gt;       &lt;mrow&gt;         &lt;mn&gt;2&lt;/mn&gt;       &lt;/mrow&gt;     &lt;/msup&gt;     &lt;/mrow&gt;     &lt;mi&gt;R&lt;/mi&gt;   &lt;/math&gt;</pre>	<pre>&lt;math&gt;   &lt;apply&gt;     &lt;times /&gt;     &lt;apply&gt;       &lt;power /&gt;       &lt;apply&gt;         &lt;abs /&gt;         &lt;ci&gt;I&lt;/ci&gt;       &lt;/apply&gt;     &lt;/apply&gt;     &lt;cn&gt;2&lt;/cn&gt;   &lt;/apply&gt;   &lt;ci&gt;R&lt;/ci&gt; &lt;/math&gt;</pre>

**Архитектура комплекса конструирования и интерпретации решений.** Комплекс средств конструирования описаний и интерпретации процесса решения расчетных задач, основанный на описанном выше модельном представлении и стандартах, доступен по сети Интернет и включает в себя:

- web-интерфейс авторских средств редактирования задач и вопросов на содержательном уровне (исходные и расчетные переменные, расчетные соотношения) и на уровне визуального представления;

- web-сервис доступа к базе расчетных задач для отображения вопросов задачи на компьютере студента, а также обработки ответов студента в контексте состояния данных задачи.

Авторские средства редактирования визуального представления задачи позволяют преподавателю определить, заполнить и выполнить предварительный просмотр макета клиентской страницы в том виде, в каком ее увидит студент (с точностью до значений случайно генерируемых исходных данных).

Следующий этап – редактирование вопросов (рис. 2) – предполагает определение входных и выходных переменных, а также расчетного соотношения для каждого вопроса. В список входных переменных расчетного соотношения могут входить как исходные данные задачи, так и расчетные переменные. Для расчетных переменных окно редактирования содержит лишь имя переменной и наименование единицы измерения (значение не указывается). Для исходных данных задачи, кроме имени и единицы измерения переменной, необходимо также указать ее тип, значение или диапазон значений.

Рассмотрим создание переменных для расчетного соотношения к вопросу «Рассчитать реактивное сопротивление катушки». Это переменные «Емкость конденсатора» ( $C$ ) и «Частота» ( $f$ ). Для исходной переменной значение может быть задано либо константой, либо случайной величиной из заданного диапазона. Для этого под значение переменной отведено два поля (рис. 3). Если заполнены оба, то перед началом решения задачи значение переменной генерируется из заданного промежутка, иначе значение считается константой. Редактирование переменных комплексного типа выполняется аналогично, отдельно для действительной и мнимой части.

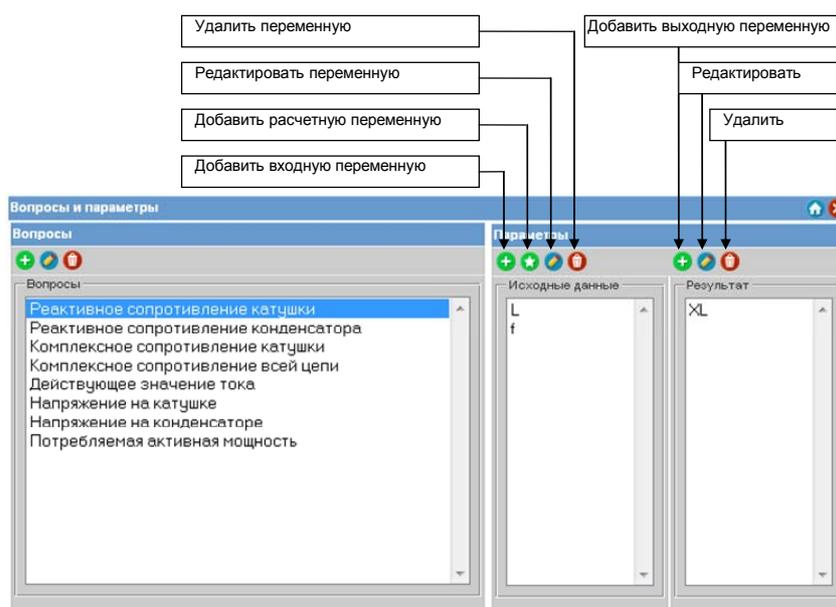


Рис. 2. Web-интерфейс редактирования вопросов

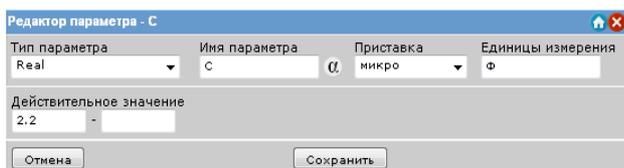


Рис. 3. Окно редактирования входного параметра задачи

Редактирование вопроса завершается вводом расчетного соотношения в окне визуального редактора WebEQ (рис. 4).

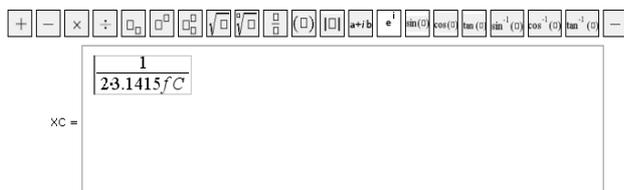


Рис. 4. Окно редактирования расчетного соотношения

В результате повторения описанных операций редактирования для каждого вопроса задачи формируется ее сетевая модель (рис. 1).

Интерфейс web-сервиса интерпретации процесса решения задачи представлен WSDL-файлом (этот файл хранится в реестре сервисов ИГЭУ и доступен для использования любым клиентским приложением), описывающим предоставляемые web-сервисом функции «Получить задачу» (getTask) и «Оценить ответ» (sendAnswer). Web-сервис интерпретации решения задачи может быть подключен из любой среды разработки, поддерживающей технологию web-сервисов (PHP, ASP.NET, Java, Delphi). Наивысший уровень автоматизации процедуры подключения сервиса предоставляет среда ASP.NET. Разработчику приложения-клиента web-сервиса в этой среде для подключения к сервису даже не требуется прибегать к программированию. Достаточно указать адрес (URL) WSDL-файла и получить список доступных функций.

**Рисунок:**

**Задача:**

К цепи, состоящей из последовательно соединенных катушки и конденсатора, приложено синусоидальное напряжение (см. рисунок).

Определить действующие значения тока, напряжений на катушке и конденсаторе. Найти потребляемую активную мощность.

**Параметры:**

C = 2.2 (мкФ)  
 L = 0.02 (Гн)  
 R = 20 (Ом)  
 U = 10 (В)  
 XC = 103.3504 (Ом)  
 XL = 87.962 (Ом)  
 Z = 20 - 15.5i (Ом)  
 Zкат = 20 + 87.9i (Ом)  
 f = 700 (Гц)

**Вопрос:**

Определите действующее значение тока

$I = \frac{U}{Z}$

Ответить
Прервать

Рис. 5. Web-интерфейс решения расчетных задач

При первом обращении сервис выполняет персональную параметризацию исходных данных задачи, т. е. генерацию случайных данных из диапазона, заданного при разработке задачи. Так, в задаче расчета параметров короткого замыкания трансформатора методом случайной генерации будут инициализированы следующие параметры:

- $U$  – напряжение;
- $R$  – активное сопротивление;
- $C$  – емкость конденсатора;
- $L$  – индуктивность катушки.

Цикл решения задачи представляет собой последовательность пар вопросов типа «что делать?» и «как делать?» на текущем шаге решения. Вопрос «что делать?» предьявляется студенту в виде задания на выбор одного из оставшихся шагов решения задачи, соответст-

вующих активным переходам CPN. Для правильно выбранного шага должны быть известны значения всех исходных данных для расчета. Вопрос «как делать?» представляет собой задание, предусматривающее ответ в виде расчетного соотношения, соответствующего выбранному шагу задания (рис. 5). Сервис отправляет клиенту страницу представления вопроса в соответствии с его типом и разработанным шаблоном.

Сценарий заканчивает работу, как только список доступных вопросов становится пустым. В качестве оценки решения web-сервис возвращает отношение количества правильных ответов к общему количеству вопросов задачи.

## Заключение

Таким образом, в результате выполненных исследований разработана модель представления расчетной задачи в виде раскрашенной сети Петри, метод ее интерпретации, web-интерфейс авторских средств разработки задачи и web-сервис ее интерпретации. Применение разработанных методов и средств позволяет авторам учебно-методических материалов и программистам-разработчикам компьютерных средств обучения использовать предложенные решения многократно, независимо от программной и операционной платформы разработки. Средства разработки и интерпретации расчетных задач интегрированы в систему web-обучения ГИПЕРТЕСТ 2.0 [7] и испытаны на примерах задач по курсам основ электротехники и электрических машин и аппаратов.

Пантелеев Евгений Рафаилович,  
Ивановский государственный энергетический университет,  
доктор технических наук, профессор кафедры программного обеспечения компьютерных систем,  
e-mail: erp@poks.ispu.ru

Карпов Ярослав Эдуардович,  
Ивановский государственный энергетический университет,  
студент кафедры программного обеспечения компьютерных систем,  
e-mail: fury@vc.ispu.ru

## Список литературы

1. Крик Э. Введение в инженерное дело. – М.: Энергия, 1970.
2. Gertner A. and VanLehn K. A Coached Problem Solving Environment for Physics / Gauthier G., Frasson C., and VanLehn K.: Proceedings of 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Springer-Verlag. – 2000. – P. 133–142.
3. Mitrovic A. Learning SQL with a Computerized Tutor: Proc. 29th SIGCSE Tech. Symposium. – 1998. – P. 307–311.
4. Jensen K. Coloured Petri Nets: A High-level Language for System Design and Analysis / G. Rozenberg (ed.): Advances in Petri Nets 1990 // Lecture Notes in Computer Science. – Vol. 483. – Springer-Verlag. – 1991. – P. 342–416.
5. Кримова Н.А. Основы анализа и расчета линейных электрических цепей: Учеб. пособие для вузов // Минобразования и науки Российской Федерации, Иванов. гос. энерг. ун-т. – 3-е изд., перераб. и доп. – Иваново, 2004.
6. Эрик Ньюкомер. Веб-сервисы: XML, WSDL, SOAP и UDDI Understanding Web Services: XML, WSDL, SOAP and UDDI Серия: Для профессионалов. – СПб.: Изд-во Питер, 2003.
7. Среда разработки программ дистанционного обучения и профильного тестирования ГИПЕРТЕСТ: инструментальные средства / Е.Р. Пантелеев, И.А. Ковшова, И.В. Малков и др. // Информационные технологии. – 2001. – № 8. – С. 34–40.