

**Рогозин Олег Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

## СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ И ТЕХНОЛОГИИ SCORM

Рассматривается обобщённая модель дистанционного проекта обучения, его структура, наглядно приводится алгоритм нечёткого вывода при формировании новых знаний, построение методики оценки обучающихся.

**Ключевые слова:** модель дистанционного проекта обучения; систем Мамдани; применение нечёткой логики; модель представления знаний.

Стремительное развитие электронных средств обучения требует разработки таких систем дистанционного обучения, отличительными особенностями которых является универсальность используемых информационных обучающих ресурсов, их модульность, возможность работы на различных аппаратно-программных платформах, в сети (в том числе локальной). Должна существовать возможность масштабирования системы для использования в учебных учреждениях различной структуры и величины, с различными уровнями и целями использования технологий дистанционного обучения; вероятность обеспечения высокого уровня надёжности системы, полной автоматизация функционирования систе-

мы и интеграции с другими видами информационных систем.

### Обобщённая модель дистанционного проекта обучения

Введём понятие дистанционного проекта обучения и сформируем набор показателей эффективности обучения на основе обобщённой модели проекта в виде:

$$L < L_n, G, T, R > ,$$

где  $L$  — проект обучения,  $L_n$  — начальное состояние инновационного проекта,  $G$  — цель,  $T$  — наборы тестов при переходе от одного состояния проекта к другому,  $R$  — ресурсы. Уровень под-



готовки считается завершённым, когда не менее восьмидесяти пяти процентов тестов пройдены успешно; при этом оценка завершения тестов производится на основании качественных показателей и использовании математического аппарата нечёткой логики. Последовательность прохождения теста и, следовательно, степень освоения материала определяется управляющим графом обучения, который строится с использованием заголовков модулей изучаемой дисциплины.

### Применение нечёткой логики

Применение нечёткой логики позволяет с успехом решать задачи, исходные данные в которых являются слабо формализованными [3]. Кроме

того, использование правил, составление которых проводится на языке, близком к естественному, существенно повышает степень приближения к требуемым результатам вывода.

В общем случае систему нечёткого вывода можно представить следующим образом (рис. 1). Основными её компонентами являются — *фаззификатор*, *машина нечёткого логического вывода* и *дефаззификатор*.

На вход фаззификатора поступает вектор  $X$  чётких переменных. Фаззификатор, используя данные о функциях принадлежности термов, преобразовывает его в вектор нечётких множеств  $\tilde{X}$ , соответствующий входному вектору. Машина нечёткого логического вывода по определённому алгоритму преобразует входной вектор нечётких множеств  $\tilde{X}$  в выход-

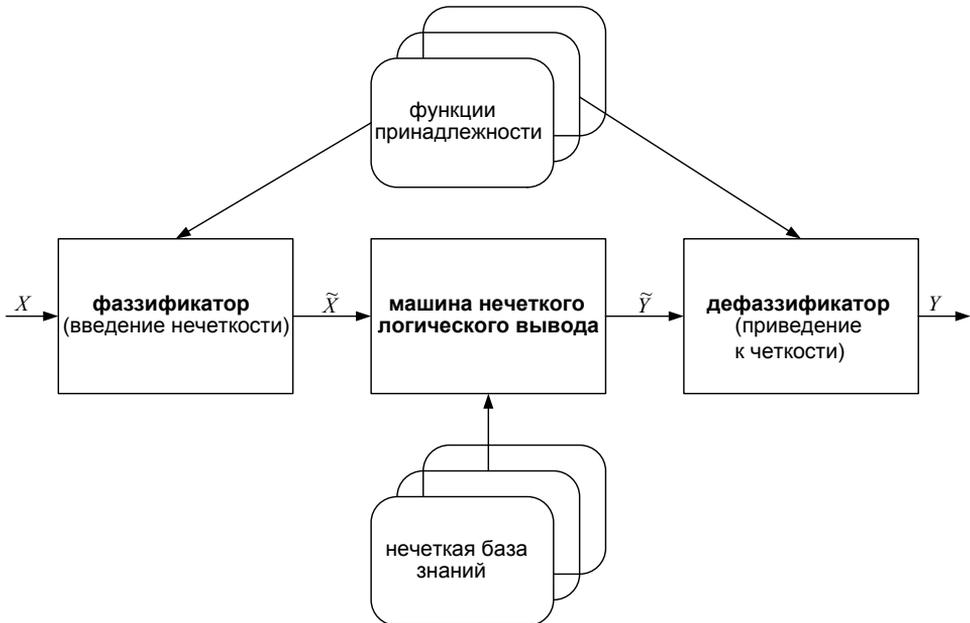


Рис. 1. Нечёткий логический вывод

ной вектор нечётких множеств  $\tilde{Y}$ , используя правила нечёткой базы знаний. Дефаззификатор в итоге преобразует выходной вектор  $\tilde{Y}$  в вектор чётких переменных  $Y$ , так же используя данные о функциях принадлежности термов.

Существуют различные системы представления нечётких знаний и основанные на них механизмы нечёткого вывода. Наиболее распространёнными являются системы *Мамдани* и *Сугэно*.

В системах типа Мамдани база знаний состоит из правил вида:

**если  $x_1$  низкий и  $x_2$  средний,  
то  $y$  высокий.**

В системах типа Сугэно база знаний состоит из правил вида:

**если  $x_1$  низкий и  $x_2$  средний,  
то  $y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2$ .**

Таким образом, основное отличие между системами Мамдани и Сугэно заключается в разных способах задания значений выходной переменной в правилах, образующих базу знаний. В системах типа Мамдани значения выходной переменной задаются нечёткими термами, в системах типа Сугэно — как линейная комбинация входных переменных.

Поскольку одной из основных причин использования нечёткой логики для механизма оценки является возможность задания требуемой зависимости на языке, близком к естественному, в данном проекте будет использоваться система логического вывода типа Мамдани.

## Модель представления знаний

В системах типа Мамдани нечёткие знания хранятся с использованием предикатных правил, которые определяют значения выходной переменной с использованием нечётких термов [1].

Предикатные правила состоят из множества *антецедентов* (условий правила) и *консеквентов* (следствий правила).

Будем использовать следующие разновидности правил:

1) **если  $x_1$  есть [не]  $X_{1i}$  и  $x_2$  есть [не]  $X_{2j}$  и ..., то  $y_1$  есть [не]  $Y_{1m}$ ,  $y_2$  есть [не]  $Y_{2n}$ , ...**

2) **если  $x_1$  есть [не]  $X_{1i}$  или  $x_2$  есть [не]  $X_{2j}$  и ..., то  $y_1$  есть [не]  $Y_{1m}$ ,  $y_2$  есть [не]  $Y_{2n}$ , ...**

где

$x_1, x_2, \dots$  — входные переменные,  $X_1 = \{X_{11}, X_{12}, \dots\}$ ,  $X_2 = \{X_{21}, X_{22}, \dots\}$ , ... — соответствующие им множества термов;

$y_1, y_2, \dots$  — выходные переменные,  $Y_1 = \{Y_{11}, Y_{12}, \dots\}$ ,  $Y_2 = \{Y_{21}, Y_{22}, \dots\}$ , ... — соответствующие им множества термов.

Таким образом, антецеденты правила представляют собой возможные условия реализации, представленные некоторыми термами входных лингвистических переменных.

Консеквенты правила представляют собой выводы, описанные некоторыми термами выходных лингвистических переменных.

Применение двух типов правил с различными функциями связыва-



ния антецедентов позволяет в общем случае сократить число правил базы знаний и сделать механизм их задания более гибким, облегчая формулирование требуемых зависимостей с использованием понятий естественного языка.

Также будем использовать возможность применения для каждого термина в правиле квантификатора *не*. Использование квантификаторов позволяет избежать создания новых терминов для описания очевидных зависимостей на основе существующих терминов лингвистической переменной.

Также введём для каждого правила некую количественную характеристику  $w \in [0, 1]$ , которая будет представлять собой вес правила, определяющий степень участия этого правила в механизме вывода.

## Структура проекта обучения

При выборе формата для хранения учебных курсов будем придерживаться международного стандарта IMS Content Packaging [8]. Данная спецификация описывает способы описания и упаковки учебных материалов (например, отдельных курсов или их коллекции) в интероперабельные легко распределяемые «блоки» за счёт описания состава, структуры и расположения предоставляемых учебных материалов с указанием типа содержимого. Стандарт рассчитан на разработчиков учебных материалов, продавцов обучающих систем, ком-

пьютерных платформ и провайдеров обучающих сервисов. Обучающие материалы описываются и упаковываются с использованием XML-формата, что позволяет добиться интероперабельности с любыми приложениями и инструментами, поддерживающими эту спецификацию.

В разрабатываемом проекте будем использовать понятие *учебный курс* в качестве логической единицы представления учебного материала. В соответствии со спецификацией IMS Content Packaging учебный курс представляется в виде некоего независимого «пакета» (рис. 2.), внутри которого находятся непосредственно содержимое (ресурсы) и манифест (описание). В качестве ресурсов в «пакете» могут содержаться самые разнообразные виды файлов — начиная от аудио и видео форматов и заканчивая HTML-страницами или простыми текстовыми файлами. Внутреннее содержание курса будет рассмотрено позднее, данная же спецификация описывает только способ описания и упаковки обучающих материалов.

Манифест представляет собой описание структуры и содержимого курса в виде XML файла, имеющего фиксированное имя `imsmanifest.xml` и определённый формат [8]. Манифест описывает:

- метаданные,
- информацию об организации учебных материалов,
- ресурсы и контрольные задания,
- вложенные манифесты.

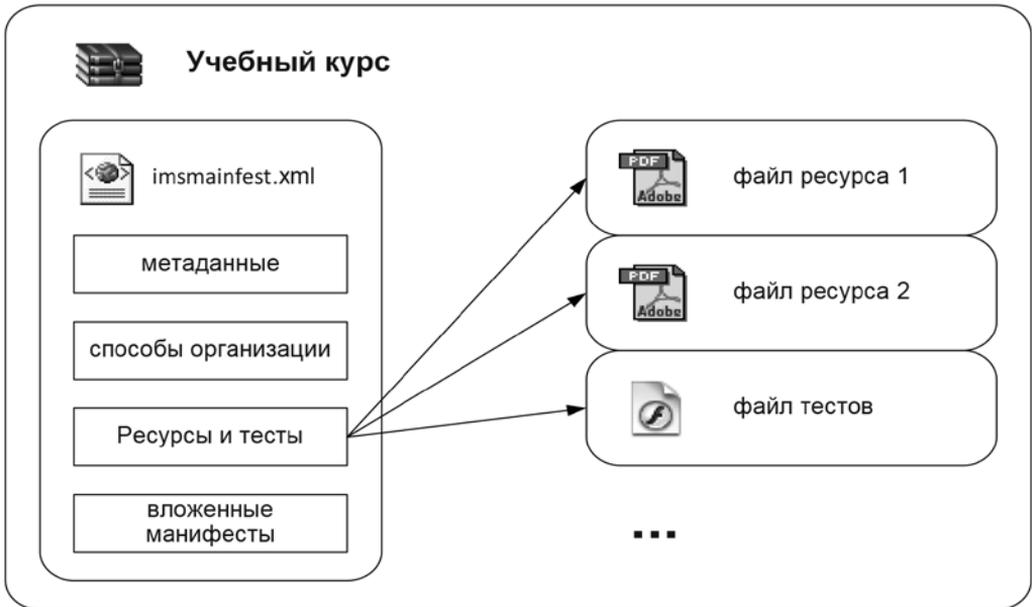


Рис. 2. Описание и упаковка учебных материалов

Метаданные учебного курса описываются в соответствии со спецификацией IEEE 1484.12.1-2002 Standard for Learning Object Metadata [9]. Метаданные описывают общие свойства и характеристики курса. Часто, при сравнительно простом использовании этой спецификации, в метаданные включают описание курса, ключевые слова, направление обучения, уровень сложности и некую информацию об авторе. Более сложные реализации позволяют иерархически описывать целые группы свойств и характеристик. В этом случае спецификация определяет фиксированную иерархию характеристик, описываемых метаданными.

Информация об организации учебных материалов позволяет на основе

одних и тех же ресурсов создать различные способы проведения учебного курса. Такая возможность достигается за счёт отдельного хранения ресурсов и информации об их использовании. Имея неупорядоченный набор ресурсов, описывающих какую-либо предметную область, можно создать несколько вариантов её изучения. Например: краткая программа обучения, полная программа обучения и расширенная программа обучения. Краткая программа будет ссылаться только на ресурсы, содержащие основные понятия, полная может содержать основную часть ресурсов, а расширенная программа обучения будет дополнительно содержать в себе ссылки на ресурсы, которые наиболее полно описывают предметную область.



Секция ресурсов предназначена для детального описания включённых в состав курса ресурсов. Ресурс представляет собой один или несколько файлов с обучающими материалами. При описании ресурса в манифесте указывается его тип, необходимый для правильного отображения содержимого, а также ссылку на основной файл, если ресурс содержит сразу несколько файлов. Например, если ресурс выполнен в виде HTML-страницы, то при его описании в манифесте будут перечислены все используемые файлы (сама HTML-страница, изображения, скрипты, и т.д.), а также указана ссылка на файл HTML-страницы, поскольку именно его следует отображать при просмотре содержимого курса.

Вложенные манифесты позволяют описывать в рамках одного курса целую иерархическую структуру обучающих понятий. При описании более мелких обучающих понятий файлы их ресурсов помещаются в общий пакет наряду с основными, а их манифесты помещаются в основной манифест в качестве вложенных.

Таким образом, формируется определённый набор файлов, входящих в пакет: все файлы содержимого и файл манифеста. Файлы, представляющие содержимое, могут находиться в любых папках различного уровня вложенности, а файл манифеста *imsmanifest.xml* должен располагаться непосредственно в корневом каталоге курса.

Для удобства распространения и использования учебного курса специ-

фикация IMS Content Packaging предлагает упаковывать все получившиеся файлы в единый PIF-файл (Package Interchange File). В качестве основного формата для PIF-файла рекомендуется использовать формат архива PKZip (.zip).

В итоге всё содержимое учебного курса оказывается представлено в виде одного файла, а использование алгоритмов сжатия позволяет экономить дисковое пространство, необходимое для его хранения. Для представления учебных материалов была выбрана структура, предлагаемая спецификацией IMS Content Packaging, содержимое учебных курсов в которой реализовано по концепции внешнего представления.

### **Алгоритм нечёткого вывода при формировании новых знаний**

Механизм вывода позволяет системе получать новые знания на основе уже имеющихся. При использовании описанной выше предикатной модели представления знаний процесс логического вывода будет сводиться к определению фактических значений выходных переменных на основании информации о фактических значениях входных переменных.

В общем случае любой логический вывод осуществляется за четыре этапа:

1. *Введение нечёткости.* Применение функций принадлежности к фактическим значениям входных переменных для опре-

деления степени истинности каждой предпосылки каждого правила.

2. *Логический вывод.* На основе вычисленных значений истинностей для предпосылок определяется степень истинности всего правила, которая применяется к переменным следствия. В результате этого для переменных следствия в каждом правиле будет сформировано своё нечёткое множество.
3. *Композиция.* Все нечёткие множества, сформированные для каждой переменной следствия во всех правилах, объединяются вместе, чтобы сформировать одно нечёткое множество для каждой выходной переменной.
4. *Приведение к чёткости.* Преобразование нечёткого множе-

ства каждой выходной переменной к её фактическому значению.

Рассмотрим особенности работы алгоритма Мамдани на следующем примере (рис. 3):

Пусть база нечётких знаний определяется совокупностью двух правил:

**если  $x$  есть  $A_1$  и  $y$  есть  $B_1$ , то  $z$  есть  $C_1$ ;**

**если  $x$  есть  $A_2$  или  $y$  есть  $B_2$ , то  $z$  есть  $C_2$ ,**

где  $x$  и  $y$  — входные переменные,  $z$  — выходная переменная.

Для входных переменных заданы фактические значения  $x_0$  и  $y_0$  соответственно. Требуется определить фактическое значение  $z_0$  лингвистической переменной  $z$ .

1. *Введение нечёткости.* Определяем степень истинности каждого усло-

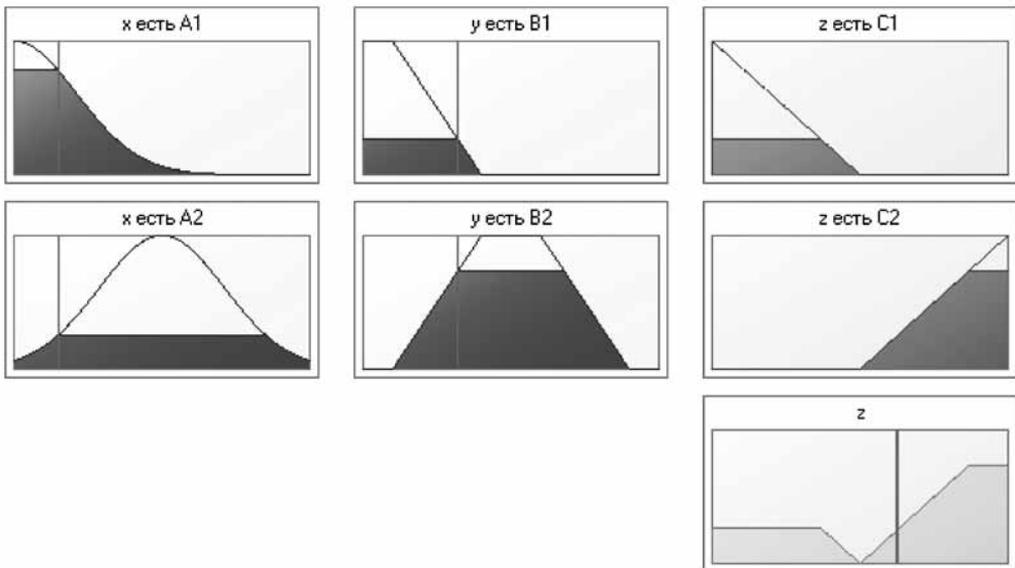


Рис. 3. Особенности работы алгоритма Мамдани



вия каждого правила. Для этого к фактическому значению входной переменной применяется функция принадлежности соответствующего терма.

2. *Логический вывод.* Для определения степени истинности всего правила необходимо применить операцию, соответствующую логической операции, связывающей его antecedentes.

При использовании конъюнктивной формы записи правила (применении связки *и*), в качестве операции определения истинности чаще всего используется функция минимума *min*. В случае же дизъюнктивной формы записи правила (применении связки *или*), — функция максимума *max*.

Полученная степень истинности используется для «отсечения» по высоте функций принадлежности всех термов следствия данного правила. Таким образом, для каждого терма следствия формируется своё нечёткое множество.

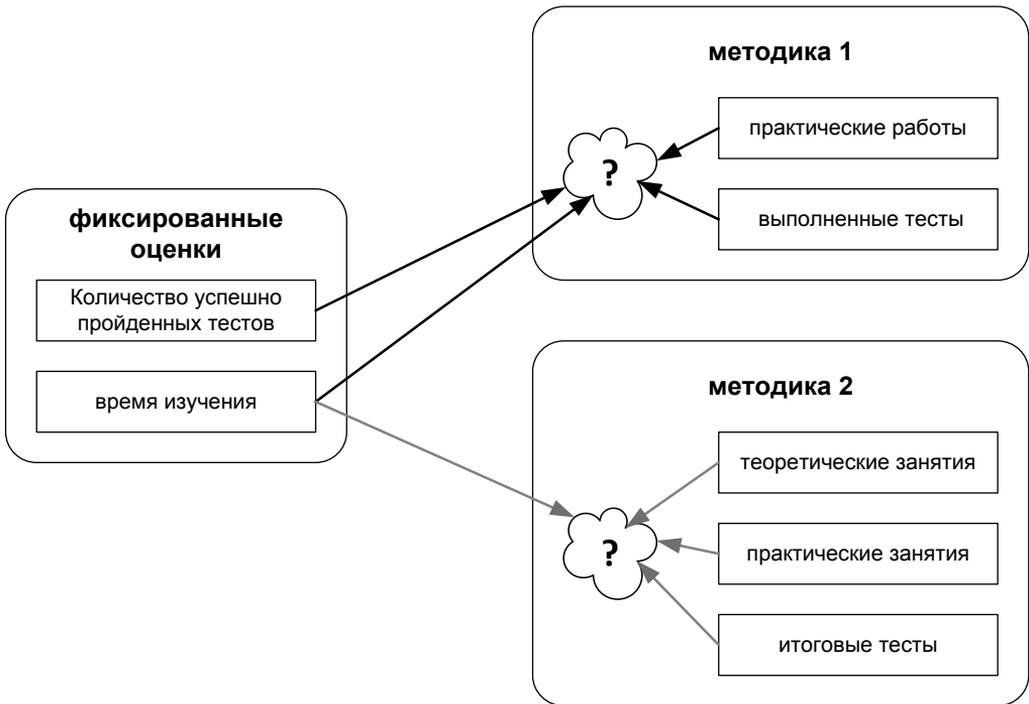
3. *Композиция.* Все нечёткие множества, назначенные разным термам одной и той же переменной, объединяются с использованием операции композиции. Чаще всего в роли такой операции выступает функция максимума *max*. При этом результирующее множество конструируется как поточечный максимум по всем исходным множествам. В результате для каждой переменной следствия формируется отдельное нечёткое множество.

4. *Приведение к чёткости.* Для определения фактических значений каждой из переменных вывода в алгоритме Мамдани чаще всего используется *метод центра тяжести* — чёткое значение  $\omega_0$  выходной переменной  $\omega$  определяется как центр тяжести для кривой  $\mu(\omega)$ .

### **Построение методики оценки обучающихся**

Для оценки обучающихся прежде всего необходимо выделить некие значащие факторы, которые и будут её определять. В ходе проведения дистанционного обучения есть возможность автоматического получения некоторых количественных характеристик, тем или иным образом характеризующих степень изучения материала. Например, в качестве таких характеристик могут выступать оценки количества успешно пройденных тестов определённого курса, а также *времени его изучения*. Будем называть такие оценки *фиксированными*.

Однако, во-первых, этих характеристик явно недостаточно для проведения адекватной комплексной оценки, а, во-вторых, само ограничение факторов оценки приводит к значительной потере гибкости и не даёт гарантии получения нужного результата в широком спектре областей применения дистанционного обучения. Под методикой оценки будем



**Рис. 4.** Применение различных методик оценки обучающихся

понимать совокупность правил, определяющих алгоритм вывода общей оценки на основе имеющихся фиксированных характеристик и дополнительных характеристик, описанных в рамках данной методики (рис. 4).

Рассмотрим более подробно понятие методики и процесс её использования для получения комплексной оценки.

При добавлении новой методики задаётся её собственный состав категорий оценок. После этого обучающийся по данной методике может получать численные оценки в рамках заданных категорий. В итоге по каждой категории становится возможным получить

общую оценку, которая берётся как среднее:

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} s_{ij}}{n_i} \quad (1)$$

где  $S_i$  — общая оценка по  $i$ -й категории,

$s_{ij}$  —  $j$ -я оценка по  $i$ -й категории,

$n_i$  — количество оценок в  $i$ -й категории.

Наряду с общими оценками для каждого обучающегося автоматически формируются оценки из числа фиксированных.

Также в рамках методики оценки задаётся свой собственный нечёткий



контроллер для логического вывода, который позволяет получить численное значение выходного параметра на основе значений входных параметров. В качестве входных параметров такой контроллер может использовать как общие оценки по категориям, так и любые (не обязательно все) имеющиеся оценки из набора фиксированных.

Учитывая, что в рамках данного проекта предусмотрена возможность создания и редактирования произвольных нечётких контроллеров, достигается необходимая гибкость для получения требуемой комплексной оценки.

### **Разработанное приложение и его применение**

Как уже упоминалось выше, сайт дистанционного обучения представляет собой конечный инструмент для проведения учебного процесса. Поддерживая различные роли, он предоставляет необходимые функции всем членам процесса дистанционного обучения и позволяет проводить требуемую комплексную оценку. Таким образом, основными функциональными требованиями к сайту дистанционного обучения являются:

- организация процесса дистанционного обучения, хранение информации об участниках образовательного процесса;
- разграничение доступа и поддержка ролей для различных

участников образовательного процесса;

- поддержка разработанного формата учебных курсов и возможность его отображения;
- поддержка файла описания системы нечёткого логического вывода и возможность проведения комплексной оценки на основе статистических данных.

### **Организация образовательного процесса**

Участники образовательного процесса представлены на сайте с помощью следующих ролей:

- студенты,
- преподаватели,
- администраторы.

*Студенты* — прямые потребители образовательного материала, являющиеся объектами оценки. Студенты могут заходить на сайт, изучать назначенные учебные курсы и просматривать текущие оценки своей деятельности. Управление осуществляется на уровне учебных групп, в которые объединяются студенты.

Каждому учебному курсу соответствует некая методика оценки. В рамках методики определяется состав категорий, общие оценки по которым будут влиять на общую комплексную оценку по данной методике. Для этого в рамках каждого курса определяются набор событий по каждой категории, оценки по которым и определяют общую оценку по категории (рис. 5).

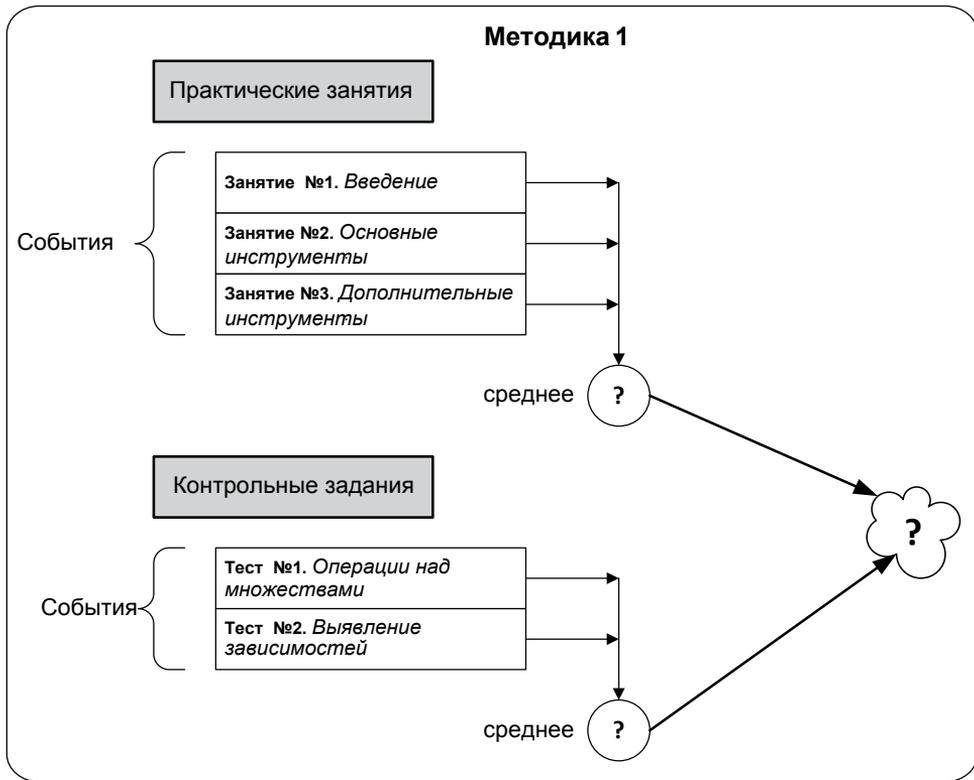


Рис. 5. Схема проведения комплексной оценки

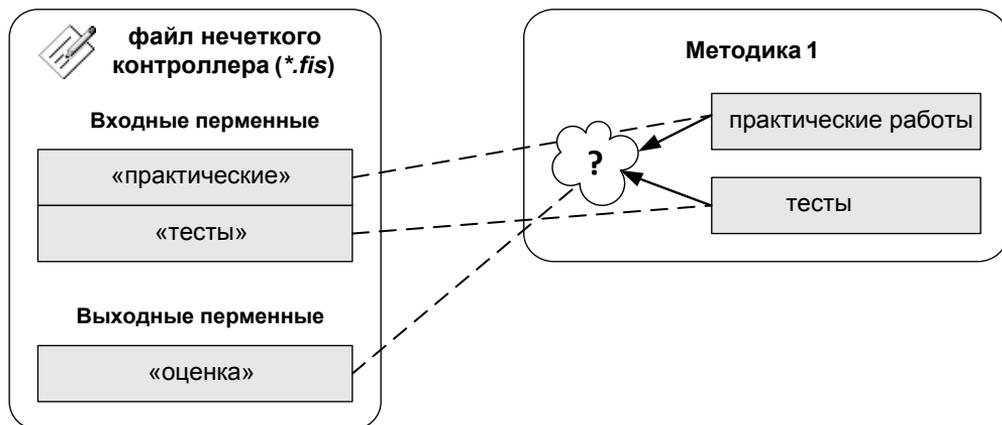
Группе студентов назначается определённый набор учебных курсов, каждый из которых контролируется преподавателем. *Преподаватель* может заходить на сайт, просматривать статистику по учебным группам и студентам, обучение которых он контролирует, а также выставлять оценки в рамках событий по каждому учебному курсу.

*Администраторы* предназначены для заполнения практически всех структур данных сайта. Они редактируют составы студентов и учебных групп, определяют преподавателей, управляют размещением учеб-

ных курсов. Также администраторы выполняют настройку методик оценки и выполняют подключение систем нечёткого логического вывода.

### Применение нечёткого вывода при выборе методики оценки

Каждая методика оценки работает в соответствии с некоторым механизмом логического вывода. Для этого на сайт дистанционного обучения подключается нечёткий контроллер, разработанный в редакторе нечёткого вывода. Поскольку редактор нечёт-



*Рис. 6. Отображение переменных FIS-файла на категории в рамках методики оценки*

кого вывода позволяет создать произвольный нечёткий контроллер, а в рамках методики требуется выполнить оценку по заданным категориям, выполняется так называемое отображение переменных FIS-файла на категории (рис. 6).

Способ отображения задаётся при настройке методики оценки. Следует заметить, что отображение выполняется не только для заданных в рам-

ках методики категорий, но и для так называемых фиксированных оценок, если их необходимо учитывать для комплексной оценки.

Таким образом, применение механизма отображения обеспечивает требуемую гибкость в проведении итоговой оценки, поскольку позволяет использовать для этих целей произвольный нечёткий контроллер.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Штовба С.Д. Введение в теорию нечётких множеств и нечёткую логику. — М.: Мир, 2001. — 178 с.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и её применение к принятию приближённых решений. — М.: Мир, 1976. — 167 с.
3. Прикладные нечёткие системы: Перевод с япон./ К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. — М.: Мир, 1993.
4. Mamdani E. H. Applications of fuzzy algorithms for simple dynamic plant. Proc. IEE. vol. 121, n. 12, pp. 1585-1588, 1974.
6. Норенков И.П. Концепция модульного учебника // Информационные технологии. — 1996. — №2.
7. IMS Content Packaging 1.1.4 Version 1.1.4 Final Specification ([http://www.imsglobal.org/content/packaging/cpv1p1p4/imscp\\_bestv1p1p4.html](http://www.imsglobal.org/content/packaging/cpv1p1p4/imscp_bestv1p1p4.html))