

УДК 373.5

DOI: 10.25559/SITITO.17.202102.453-463

Оригинальная статья

О прогнозировании результатов обучения на основе нечеткого моделирования

В. Р. Кристалинский

ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет», г. Смоленск, Российская Федерация
214000, Российская Федерация, г. Смоленск, ул. Пржевальского, д. 4
kristvr@rambler.ru

Аннотация

При обучении школьников или студентов, независимо от изучаемой дисциплины весьма желательно осуществлять прогнозирование знаний учащихся. При этом одним из возможных факторов, на основании которых строится прогнозирование, могут быть знания учащихся по ранее изученным разделам данной дисциплины. Построенный прогноз может позволить более эффективно осуществлять индивидуальный подход к учащимся, повысить качество процесса обучения. Поскольку все разделы практически любого учебного курса являются взаимосвязанными, можно построить граф, моделирующий структуру связей в рамках всей дисциплины или какой-либо ее части. В связи с тем, что связи между разделами дисциплины имеют различную степень значимости, причем определение этой значимости носит субъективный характер, для моделирования целесообразно использовать нечеткий граф, степени принадлежности дуг которого моделируют тесноту связи между разделами дисциплины в рамках рассматриваемой модели. На основе построенного нечеткого графа можно построить систему нечеткого вывода, позволяющую прогнозировать результаты учебной деятельности по дисциплине. Очевидно, что построение модели в каждом конкретном случае должно осуществляться совместно учителем или специалистом по методике преподавания данной дисциплины и специалистом в области нечеткого моделирования. В работе рассматривается пример построения нечеткого графа и системы правил для прогнозирования результатов обучения по курсу алгебры 7 класса средней школы и компьютерной реализации построенной модели средствами библиотеки Fuzzy Logic Toolbox пакета MatLab и разработанного нами программного приложения на языке C# с использованием библиотеки Assogd. Осуществляется сравнение двух этих подходов к реализации модели.

Ключевые слова: прогнозирование результатов обучения, нечеткое моделирование

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кристалинский, В. Р. О прогнозировании результатов обучения на основе нечеткого моделирования / В. Р. Кристалинский. – DOI 10.25559/SITITO.17.202102.453-463 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2021. – Т. 17, № 2. – С. 453-463.

© Кристалинский В. Р., 2021



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



On Predicting Learning Outcomes Based on Fuzzy Modeling

V. R. Kristalinskii

Smolensk State University, Smolensk, Russian Federation
4 Przhevalsky St., Smolensk 214000, Russian Federation
kristvr@rambler.ru

Abstract

When teaching schoolchildren or students, regardless of the discipline being studied, it is highly desirable to predict the knowledge of students. At the same time, one of the possible factors on the basis of which forecasting is based may be the knowledge of students in previously studied sections of this discipline. The constructed forecast can allow for a more effective individual approach to students, improve the quality of the learning process. Since all sections of almost any training course are interconnected, it is possible to build a graph that models the structure of connections within the entire discipline or any part of it. Due to the fact that the connections between the sections of the discipline have different degrees of significance, and the definition of this significance is subjective, it is advisable to use a fuzzy graph for modeling, the degrees of belonging of the arcs of which model the closeness of the connection between the sections of the discipline within the framework of the model under consideration. Based on the constructed fuzzy graph, it is possible to build a fuzzy inference system that allows you to predict the results of educational activities in the discipline. It is obvious that the construction of a model in each specific case should be carried out jointly by a teacher or a specialist in the methodology of teaching this discipline and a specialist in the field of fuzzy modeling. The paper considers an example of constructing a fuzzy graph and a system of rules for predicting the results of training in the algebra course of the 7th grade of high school and a computer implementation of the constructed model using the Fuzzy Logic Toolbox library of the MatLab package and a C# software application developed by us using the Accord library. The comparison of these two approaches to the implementation of the model is carried out.

Keywords: forecasting of learning outcomes, fuzzy modeling

The author declares no conflict of interest.

For citation: Kristalinskii V.R. On Predicting Learning Outcomes Based on Fuzzy Modeling. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2021; 17(2):453-463. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202102.453-463>



Введение

Одним из путей повышения эффективности процесса обучения школьников или студентов любой дисциплине учебного плана является индивидуализация обучения. Для того, чтобы выработать индивидуальный подход к обучающемуся школьнику или студенту, целесообразно тем или иным способом осуществить прогнозирование результатов обучения. Поскольку каждый учащийся индивидуален, и любой прогноз его развития может быть только субъективным, при прогнозировании, на наш взгляд, может быть весьма эффективным использование нечеткой математики и систем нечеткого вывода. При этом прогноз может быть построен на основе различных факторов. В работе [1] в качестве таких факторов рассматривались различные источники мотивации студентов к обучению: интерес к изучаемой дисциплине, влияние родителей, желательность получения стипендии. Данный подход в предлагаемом в этой работе виде может быть использован, как указывают его авторы, для работы с определенной категорией обучаемых: студентов первых курсов вузов.

В настоящей работе рассматривается использование подхода, который может, на наш взгляд, использоваться для работы с учащимися любых учебных заведений и любых возрастов при изучении практически любой дисциплины. Этот подход основан на использовании при построении прогноза сведений об уровне знаний учащихся по предыдущим разделам дисциплины. Он был предложен нами в работах [2] и [3], однако в них был построен только небольшой иллюстративный пример, включающий только три раздела курса математики средней школы и на его основе была построена демонстрационная модель в системе MatLab, позволяющая лишь в основных чертах показать работоспособность данного подхода. Теперь нами построена модель, описывающая полный курс алгебры 7 класса средней школы. Кроме того, в последние годы появилась возможность, наряду с моделированием с использованием среды MatLab реализовывать нечеткий вывод на языке C# в среде программирования Microsoft Visual Studio. Каждый из этих двух способов реализации нечеткого вывода имеет свои достоинства и недостатки, которые будут рассмотрены в предлагаемой статье.

Цель исследования

Целью исследования является разработка методики прогнозирования результатов обучения на основе нечеткого моделирования.

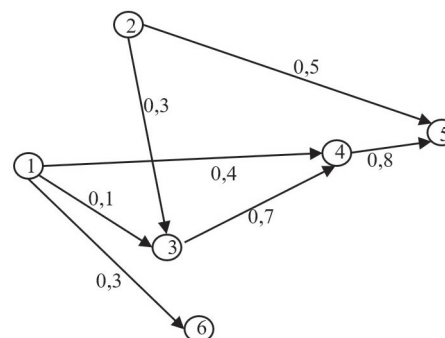
Построение математической модели

Практически любая учебная дисциплина может быть представлена, как было указано выше, в виде множества взаимосвязанных между собой разделов или тем. Как было показано, в частности, Д.А. Бояриновым (см. [4]) и С.П. Грушевским (см. [5]), математической моделью этой взаимосвязи может быть граф. На наш взгляд, более адекватным представлением учеб-

ной дисциплины может служить нечеткий граф (см. например, [6]). Это связано с тем, что степень взаимосвязи между различными разделами изучаемого материала может быть различной с точки зрения различных методических подходов. Поэтому она может быть характеризована с помощью степени принадлежности ребра, моделирующего взаимосвязь между двумя разделами, нечеткому графу.

Построенный нечеткий граф может служить основой для прогнозирования результатов обучения. А именно, на его основе строится система нечеткого вывода, входными переменными которой могут служить оценки знаний по начальным темам курса, а выходными – по всем последующим. Как указано в [6], «процесс нечеткого вывода представляет собой некоторую процедуру или алгоритм получения нечетких заключений на основе нечетких условий или предпосылок». Применение нечеткого вывода в данном случае обосновывается тем, что как связь между разделами дисциплины несут, как указано выше, нечеткий характер, так и оценка знаний учащихся носит тоже, по существу, нечеткий характер. Однако связь между успеваемостью по предшествующим и последующим темам очевидна, особенно, если речь идет о дисциплинах естественнонаучного цикла.

Проиллюстрируем описанный подход на примере курса алгебры 7 класса общеобразовательной школы¹. Данный курс состоит из 6 разделов. Первый раздел – выражения, тождества, уравнения, второй – функции, третий – степень с натуральным показателем, четвертый – многочлены, пятый – формулы сокращенного умножения, шестой – системы линейных уравнений. Построим нечеткий граф, моделирующий взаимосвязи в рамках этого курса.



Р и с. 1. Нечеткий граф, моделирующий взаимосвязи в курсе алгебры 7 класса

Fig. 1. A fuzzy graph that models relationships in the 7th grade algebra course

Здесь вершины графа представляют разделы курса, а для каждого ребра указана степень принадлежности графу.

Следует подчеркнуть, что рассматриваемый пример носит в значительной мере иллюстративный характер. Вопрос о построении графов взаимосвязей для различных дисциплин нуждается в глубокой проработке с участием специалистов в области методик преподавания этих дисциплин.

¹ Алгебра. 7 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений / Ю. Н. Макарычев, Н. Г. Миндюк, К. И. Нешков, С. Б. Суворова; под ред. С. А. Теляковского. М.: Просвещение, 2013. 256 с.



Далее для каждого раздела курса вводятся лингвистические переменные. Каждая из них содержит по 4 лингвистические переменные: Bad, Satisfactory, Good, Excellent, соответствующие оценке знаний учащихся по соответствующему разделу. Приведем правила, описывающие связи между 1, 2 и 3 разделами.

```
IF Theme1 IS Bad AND Theme2 IS Bad THEN Theme3 IS Bad;
IF Theme1 IS Bad AND Theme2 IS Satisfactory THEN Theme3 IS Satisfactory;
IF Theme1 IS Satisfactory AND Theme2 IS Bad THEN Theme3 IS Bad;
IF Theme1 IS Satisfactory AND Theme2 IS Satisfactory THEN Theme3 IS Satisfactory;
IF Theme1 IS Satisfactory AND Theme2 IS Good THEN Theme3 IS Good;
IF Theme1 IS Good AND Theme2 IS Satisfactory THEN Theme3 IS Satisfactory;
IF Theme1 IS Good AND Theme2 IS Good THEN Theme3 IS Good;
IF Theme1 IS Good AND Theme2 IS Excellent THEN Theme3 IS Excellent;
IF Theme1 IS Excellent AND Theme2 IS Good THEN Theme3 IS Good;
IF Theme1 IS Excellent AND Theme2 IS Excellent THEN Theme3 IS Excellent;
IF Theme1 IS Bad AND Theme2 IS Good THEN Theme3 IS Satisfactory;
IF Theme1 IS Good AND Theme2 IS Bad THEN Theme3 IS Satisfactory;
IF Theme1 IS Satisfactory AND Theme2 IS Excellent THEN Theme3 IS Good;
IF Theme1 IS Excellent AND Theme2 IS Satisfactory THEN Theme3 IS Good;
IF Theme1 IS Excellent AND Theme2 IS Bad THEN Theme3 IS Satisfactory;
```

IF Theme1 IS Bad AND Theme2 IS Excellent THEN Theme3 IS Satisfactory.

Здесь Theme1 есть лингвистическая переменная, связанная с 1 разделом, Theme2 – со вторым, Theme3 – с третьим.

При построении правил использовался следующий подход: если оценки по входным темам различаются на балл, то для выходной переменной выбирается терм, соответствующий оценке за раздел, более тесно связанный с выходным, то есть в данном случае за второй раздел, поскольку степень принадлежности графу дуги 2-3 больше, чем дуги 1-3.

Аналогично осуществляется построение остальных правил. Таким образом, для данного графа строится 52 правила.

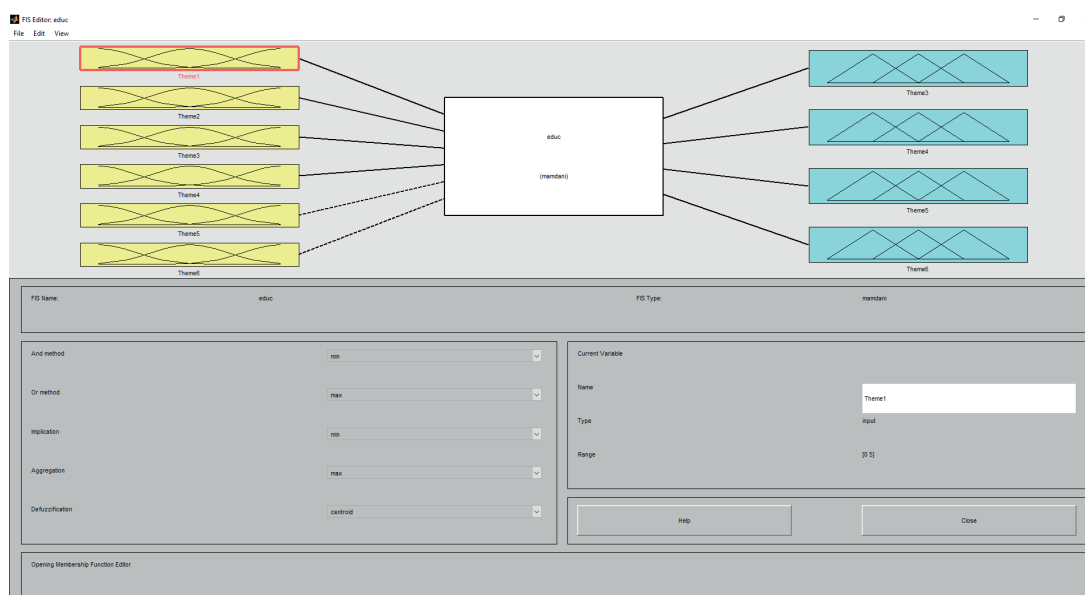
Для всех термов лингвистических переменных определяем вид функций принадлежности. Для термина Bad это z-функция, для термов Satisfactory и Good это треугольные функции, для термина Excellent это s-функция.

После построения нечеткой модели можно приступить к ее компьютерной реализации.

Реализация модели в среде MatLab

Одним из широко известных средств компьютерной реализации систем нечеткого вывода является пакет MatLab. Он содержит библиотеку Fuzzy Logic Toolbox, предназначенную для работы с такими системами. Рассмотрим реализацию построенной модели средствами этой библиотеки.

Вначале строятся входные и выходные лингвистические переменные. В нашем случае можно либо построить шесть входных переменных и четыре выходные, после чего последовательно получать значения выходных переменных, приравнивая значения еще не полученных переменных к нулю, либо строить отдельные системы нечеткого вывода для каждой выходной переменной и получать значения этих переменных также последовательно. В настоящей работе был выбран первый способ.



Р и с. 2. Окно ввода переменных системы

Fig. 2. System Variable Entry Window



После этого для каждой их переменных строим функции принадлежности термов. Как указано выше для термов Bad и Excellent выбраны соответственно z-функция и s-функция, для остальных термов – треугольные функции. Как указано, например, в [6], z-функция есть функция, которая может быть задана аналитически следующим выражением

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x < a; \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{x-a}{b-a} \pi\right); & a \leq x \leq b; \\ 0 & x > b, \end{cases}$$

где a и b – параметры, задаваемые пользователем (в нашем случае взято $a = 2, b = 3$).

s-функция определяется соотношением

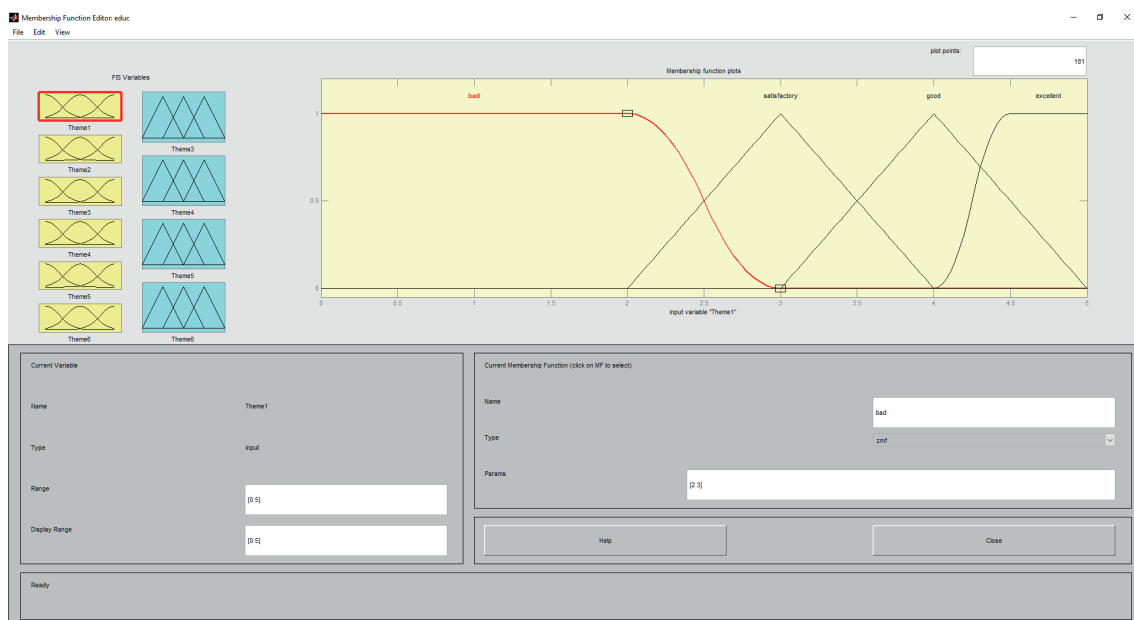
$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < a; \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{x-b}{b-a} \pi\right); & a \leq x \leq b; \\ 1 & x > b. \end{cases}$$

В нашем примере взято $a = 4, b = 4,5$.

Треугольная функция есть кусочно-линейная функция, определяемая соотношением

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < a; \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c; \\ 0 & x > b. \end{cases}$$

Для терма Satisfactory имеем $a = 2, b = 4, c = 3$, для терма Good $a = 3, b = 5, c = 4$.



Р и с. 3. Окно построения функций принадлежности

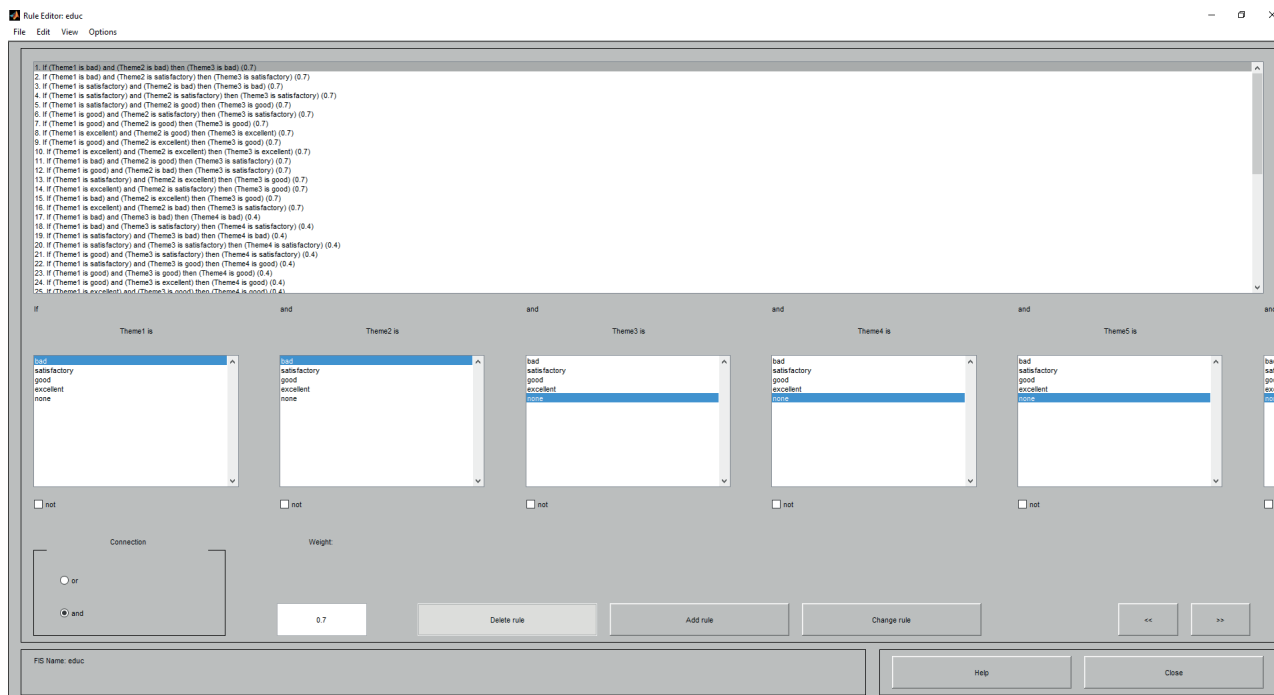
Fig. 3. Construct Membership Functions Window

Функции принадлежности система позволяет выбирать из списка 11 возможных, параметры либо вводятся пользователем, либо настраиваются в интерактивном режиме. Аналогично строятся функции принадлежности и для остальных переменных.

После этого осуществляется ввод правил. В MatLab существует простая интерактивная процедура, позволяющая вводить правила.

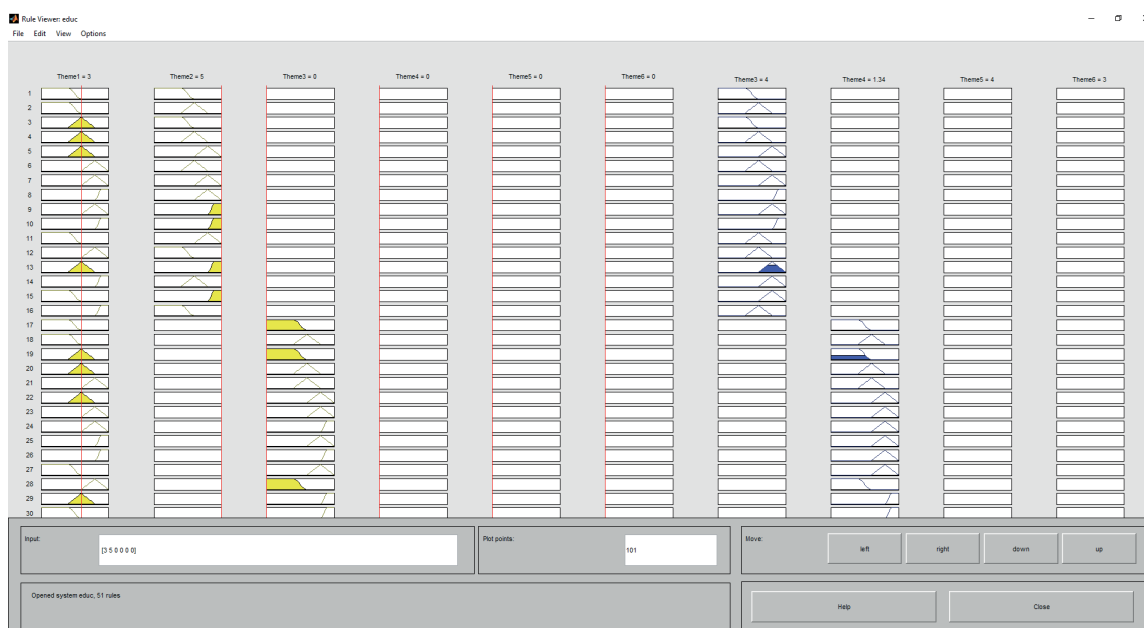
После этого осуществляется реализация нечеткого вывода. В систему вводятся оценки знаний учащихся по двум первым темам и нули для всех остальных тем. Система MatLab выполняет алгоритм нечеткого вывода (по умолчанию это алгоритм Мамдани) и выводит прогноз оценки знаний учащихся. При этом можем впоследствии запустить систему с оценками за первую, вторую и третью тему на входе, получив при этом новые прогнозы по последующим темам (а можем сделать это после изучения третьей темы).





Р и с. 4. Окно ввода правил

F i g. 4. Rule Entry Window



Р и с. 5. Окно вывода результатов работы системы прогнозирования

F i g. 5. Output window of the forecasting system



Таким образом, описанная нами компьютерная реализация системы прогнозирования результатов обучения позволяет достаточно легко и эффективно строить прогноз знаний учащихся.

Реализация модели с помощью программы на языке C#

В связи с ростом интереса к нечеткому моделированию и расширением областей его практического применения в последние годы появились библиотеки, позволяющие разрабатывать приложения, использующие нечеткий вывод, средствами классических языков программирования. Одной из таких библиотек является библиотека AForge.fuzzy, содержащая средства для реализации нечеткого вывода. Эта библиотека содержит определения основных функций принадлежности, используемых для задания термов, позволяет строить на их основе лингвистические переменные и записывать правила системы нечеткого вывода.

Реализуем с помощью этой библиотеки построенную нами систему для прогнозирования результатов обучения. Поскольку нечеткий граф, моделирующий курс алгебры 7 класса, имеет достаточно сложную структуру, наша реализация будет включать в себя несколько процедур нечеткого вывода, что позволит получать прогноз для последующих тем поэтапно.

Поскольку все лингвистические переменные, входящие в нашу систему, имеют одинаковый набор термов, имеющих одни и те же функции принадлежности, мы можем задать их один раз для всей программы.

```
FuzzySet fsBad = new FuzzySet("Bad",
    new TrapezoidalFunction(2,3, TrapezoidalFunction.EdgeType.
    Right));
```

```
FuzzySet fsSatisfactory = new FuzzySet("Satisfactory", new
    TrapezoidalFunction(2, 3, 3, 4));
```

```
FuzzySet fsGood=new FuzzySet("Good",newTrapezoidalFunction(3,
    4, 4, 5));
```

```
FuzzySet fsExcellent = new FuzzySet("Excellent",
    new TrapezoidalFunction(4, 5, TrapezoidalFunction.EdgeType.
    Left));
```

Первая команда задает z-функцию, вторая и третья – треугольные функции, четвертая – s-функцию. Таким образом мы описали функции принадлежности для оценок по всем темам. После этого строим лингвистические переменные для тем, например для первой темы

```
LinguisticVariable lvTheme1 = new LinguisticVariable("Theme1",
    0, 5);
    lvTheme1.AddLabel(fsBad);
    lvTheme1.AddLabel(fsSatisfactory);
    lvTheme1.AddLabel(fsGood);
    lvTheme1.AddLabel(fsExcellent);
```

Аналогично описываются и остальные темы.

Затем строим список, включающий в себя все лингвистические переменные, которые включены в модель.

```
fuzzyDB.AddVariable(lvTheme1);
fuzzyDB.AddVariable(lvTheme2);
fuzzyDB.AddVariable(lvTheme3);
fuzzyDB.AddVariable(lvTheme4);
fuzzyDB.AddVariable(lvTheme5);
fuzzyDB.AddVariable(lvTheme6);
```

Затем строим первую систему нечеткого вывода, позволяющую прогноз для первой темы.

```
InferenceSystem IS1 = new InferenceSystem(fuzzyDB, new
    CentroidDefuzzifier(1000));
IS1.NewRule("Rule 1", "IF Theme1 IS Bad AND Theme2 is Bad THEN
    Theme3 IS Bad");
IS1.NewRule("Rule 2", "IF Theme1 IS Bad AND Theme2 is
    Satisfactory THEN Theme3 IS Satisfactory");
IS1.NewRule("Rule 3", "IF Theme1 IS Satisfactory AND Theme2 is
    Bad THEN Theme3 IS Bad");
IS1.NewRule("Rule 4", "IF Theme1 IS Satisfactory AND Theme2 is
    Satisfactory THEN Theme3 IS Satisfactory");
IS1.NewRule("Rule 5", "IF Theme1 IS Satisfactory AND Theme2 is
    Good THEN Theme3 IS Good");
IS1.NewRule("Rule 6", "IF Theme1 IS Good AND Theme2 is
    Satisfactory THEN Theme3 IS Satisfactory");
IS1.NewRule("Rule 7", "IF Theme1 IS Good AND Theme2 is Good
    THEN Theme3 IS Good");
IS1.NewRule("Rule 8", "IF Theme1 IS Good AND Theme2 is Excellent
    THEN Theme3 IS Excellent");
IS1.NewRule("Rule 9", "IF Theme1 IS Excellent AND Theme2 is
    Good THEN Theme3 IS Good");
IS1.NewRule("Rule 10", "IF Theme1 IS Excellent AND Theme2 is
    Excellent THEN Theme3 IS Excellent");
IS1.NewRule("Rule 11", "IF Theme1 IS Bad AND Theme2 is Good
    THEN Theme3 IS Satisfactory");
IS1.NewRule("Rule 12", "IF Theme1 IS Good AND Theme2 is Bad
    THEN Theme3 IS Satisfactory");
IS1.NewRule("Rule 13", "IF Theme1 IS Satisfactory AND Theme2 is
    Excellent THEN Theme3 IS Good");
IS1.NewRule("Rule 14", "IF Theme1 IS Excellent AND Theme2 is
    Satisfactory THEN Theme3 IS Good");
IS1.NewRule("Rule 15", "IF Theme1 IS Excellent AND Theme2 is
    Bad THEN Theme3 IS Satisfactory");
IS1.NewRule("Rule 16", "IF Theme1 IS Bad AND Theme2 is Excellent
    THEN Theme3 IS Satisfactory");
```

Первая строка здесь определяет, что система будет работать с заданными выше лингвистическими переменными, а также метод, позволяющий получить численное значение для выходной переменной (как говорят, осуществить дефазификацию) и параметр этого метода. В остальных строках записаны правила системы нечеткого вывода.

После этого организуются ввод исходных значений оценки знаний и запуск системы.

```
string Theme1inp = tbtheme1.Text;
float Theme1d=Convert.ToSingle(Theme1inp);
```

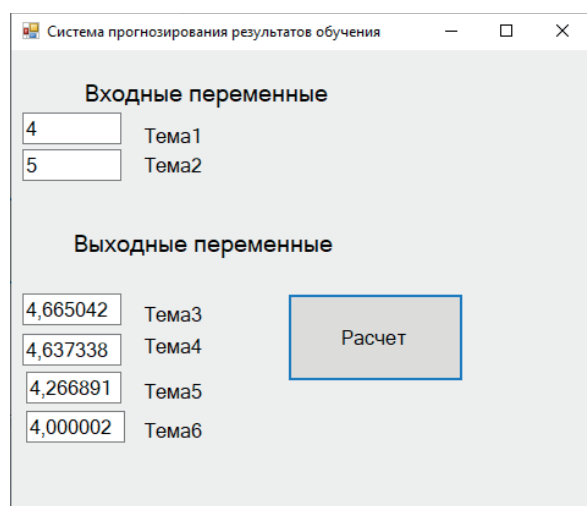


```
IS1.SetInput("Theme1", Theme1d);
string Theme2inp = tbtheme2.Text;
float Theme2d = Convert.ToSingle(Theme2inp);
IS1.SetInput("Theme2", Theme2d);
Single theme3v = IS1.Evaluate("Theme3");
tbtheme3.Text = theme3v.ToString();
```

Значение результата нечеткого вывода записывается в переменную theme3v, которая в дальнейшем используется как входная для получения прогнозов по следующим темам.

Аналогичным образом строится нечеткий вывод для прогноза результатов по остальным темам.

Работа программы представлена на рисунке 6.



Р и с. 6. Работа программы
F i g. 6. Program operation

Таким образом, используя библиотеку AForge, мы можем достаточно простыми средствами построить реализацию предлагаемой математической модели.

Сравнительный анализ предлагаемых подходов к реализации модели

Таким образом, предложенная нами модель прогнозирования результатов обучения может быть реализована как средствами системы MatLab, так и с помощью библиотеки AForge. Каждый из этих подходов имеет свои достоинства и недостатки. Система MatLab позволяет строить переменные, функции принадлежности и систему правил в интерактивном режиме, что не требует навыков программирования. При этом настройка функций принадлежности осуществляется достаточно легко. Кроме того, MatLab позволяет устанавливать веса правил, отличные от единицы, что делает систему более точной. Однако MatLab не дает возможности осуществлять последовательный вывод, то есть использовать значения выходных переменных как входные на следующем этапе. Чтобы реализовать предлагаемую модель, нужно либо дважды задавать одну и ту же переменную как входную и выходную, проводя каждый раз заново построение функций принадлежности, что и было сделано нами, либо строить несколько систем нечеткого вывода,

переносить результаты работы одной в другую вручную.

Реализация модели средствами библиотеки AForge и языка программирования C# позволяет легко осуществлять последовательный вывод. При этом, поскольку в нашей модели все термы одинаковы, они задаются один раз и в дальнейшем просто объявляются свойствами объектов, моделирующих лингвистические переменные. Поскольку строится стандартное приложение Windows Forms, легко построить устраивающий пользователя интерфейс. Однако при использовании этого подхода к реализации модели необходимо владение базовыми навыками программирования. Кроме того, библиотека AForge не позволяет, к сожалению, указывать для правил веса, отличные от единицы.

Заключение

Таким образом, нами предлагается процедура прогнозирования результатов обучения, основанная на нечетком моделировании. Эта модель, на наш взгляд может быть достаточно эффективна в силу принципиально нечеткого характера связей между разделами учебных дисциплин и оценки знаний учащихся. Дальнейшая разработка предлагаемого подхода требует участия специалистов по методике преподавания дисциплин школьного и вузовского курса. Его реализация позволит сделать процесс обучения более предсказуемым, и тем самым, повысить его эффективность.

Список использованных источников

- [1] Апатова, Н. В. Прогнозирование успеваемости студентов на основе нечеткой логики / Н. В. Апатова, А. И. Гапонов, А. Н. Майорова // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 4. – С. 7-11. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29117410> (дата обращения: 17.03.2021). – Рез. англ.
- [2] Кристаллинский, В. Р. Прогнозирование результатов обучения на основе нечеткого и хаотического моделирования / В. Р. Кристаллинский, В. В. Белоусов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2012. – № 8. – С. 680-684. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23020451> (дата обращения: 17.03.2021).
- [3] Кристаллинский, В. Р. Использование систем нечеткого вывода в прогнозировании результатов обучения / В. Р. Кристаллинский // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2011. – № 12. – С. 295-297. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44691416> (дата обращения: 17.03.2021).
- [4] Бояринов, Д. А. Метод последовательного приближения к заданным целям обучения в рамках информационного образовательного пространства личностного развития учащихся / Д. А. Бояринов // Мир науки. Педагогика и психология. – 2014. – № 4. – С. 1. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23581557> (дата обращения: 17.03.2021). – Рез. англ.
- [5] Грушевский, С. П. Учебно-информационные комплексы как новое средство обучения математике на современном этапе развития образования / С. П. Грушевский. – СПб: РГПУ им. А.И. Герцена, 2001. – 142 с. – URL: <https://>



- elibrary.ru/item.asp?id=23326543 (дата обращения: 17.03.2021). – Рез. англ.
- [6] Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
- [7] Лукьяненко, Т. В. Прогнозирование результатов обучения академической группы / Т. В. Лукьяненко, А. Г. Щерблыкин // Colloquium-journal. – 2018. – № 2-1(13). – С. 34-35. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32706513> (дата обращения: 17.03.2021). – Рез. англ.
- [8] Ташкинов, Ю. А. Педагогическое прогнозирование образовательных результатов будущих инженеров-строителей в реальном времени / Ю. А. Ташкинов. – DOI 10.23888/humj2020135-45 // Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие. – 2020. – Т. 8, № 1(28). – С. 35-45. – Рез. англ.
- [9] Ташкинов, Ю. А. Технология прогнозирования образовательных результатов студентов строительного вуза средствами компьютерной педагогики / Ю. А. Ташкинов. – DOI 10.15507/1991-9468.100.024.202003.483-500 // Интеграция образования. – 2020. – Т. 24, № 3(100). – С. 483-500. – Рез. англ.
- [10] Кустицкая, Т. А. Прогнозирование успешности обучения студента с помощью байесовской сети / Т. А. Кустицкая // Информатизация образования и методика электронного обучения / Под ред. М. В. Носкова. – Красноярск: СФУ, 2019. – С. 257-262. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40646430> (дата обращения: 17.03.2021). – Рез. англ.
- [11] Крежевских, О. В. Педагогическое прогнозирование освоения курса (дисциплины) / О. В. Крежевских, А. И. Михайлова. – DOI 10.24411/2307-4264-2019-10207 // Профессиональное образование и рынок труда. – 2019. – № 2. – С. 41-48. – Рез. англ.
- [12] Борисова, Л. В. Методика оценки уровня зрелости организации на основе нечеткого моделирования / Л. В. Борисова, Л. А. Димитрова, И. Н. Нурутдинова. – DOI 10.23947/1992-5980-2017-17-1-113-121 // Вестник Донского государственного технического университета. – 2017. – Т. 17, № 1. – С. 113-121. – Рез. англ.
- [13] Долганов, Д. Н. Модель оценки и прогнозирования успешности обучения / Д. Н. Долганов // Вестник экспериментального образования. – 2018. – № 1(14). – С. 40-54. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32672530> (дата обращения: 17.03.2021). – Рез. англ.
- [14] Аюшеева, Н. Н. Нечеткое моделирование автоматизированных систем управления / Н. Н. Аюшеева. – DOI 10.18101/978-5-9793-1496-9-219-228 // Образование и наука / Под ред. Л. А. Бохоевой. – Улан-Удэ: БГУ, 2020. – С. 219-228. – Рез. англ.
- [15] Саидова, З. А. Принятие решений на основе нечеткого моделирования сложной системы / З. А. Саидова, И. Г. Зубайров. – DOI 10.25633/ETN.2021.05.14 // Естественные и технические науки. – 2021. – № 5(156). – С. 212-215. – Рез. англ.
- [16] Оценка состояния атмосферы в регионе с помощью нечеткого моделирования / Л. В. Сахарова, Е. А. Арапова, Т. В. Алексейчик, Т. В. Богач // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). – 2018. – № 3(63). – С. 152-159. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36527857> (дата обращения: 17.03.2021). – Рез. англ.
- [17] Tang, H.-W. V. Forecasting performance of grey prediction for education expenditure and school enrollment / H.-W. V. Tang, M.-S. Yin. – DOI 10.1016/j.econedurev.2011.12.007 // Economics of Education Review. – 2012. – Vol. 31, issue 4. – Pp. 452-462. – Рез. англ.
- [18] Bousnguar, H. Forecasting approaches in a higher education setting / H. Bousnguar, L. Najdi, A. Battou. – DOI 10.1007/s10639-021-10684-z // Education and Information Technologies. – 2022. – Vol. 27, issue 2. – Pp. 1993-2011.
- [19] Beilin, I. L. Theoretical bases of project management in conditions of innovative economy based on fuzzy modeling / I. L. Beilin, V. V. Khomenko. – DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032013 // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1015, No. 3. – Article 032013.
- [20] Khan, A. T-S fuzzy modeling and predictive control and synchronization of chaotic satellite systems / Khan, A., Kumar, S. – DOI 10.1080/02286203.2018.1563393 // International Journal of Modelling and Simulation. – 2019. – Vol. 39, issue 3. – Pp. 203-213.
- [21] Castillo, O. Forecasting of COVID-19 time series for countries in the world based on a hybrid approach combining the fractal dimension and fuzzy logic / O. Castillo, P. Melin. – DOI 10.1016/j.chaos.2020.110242 // Chaos, Solitons & Fractals. – 2020. – Vol. 140. – Article 110242.
- [22] Ivanov, M. Fuzzy modeling in human resource management / M. Ivanov [и др.]. – DOI 10.1051/e3sconf/202016613010 // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 166. – Article 13010.
- [23] Maitra, S. An Adaptive Neural Fuzzy Inference System for prediction of student performance in Higher Education / S. Maitra, S. Madan, P. Mahajan. – DOI 10.1109/ICACCCN.2018.8748869 // 2018 International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN). – Greater Noida, India: IEEE Press, 2018. – Pp. 1158-1163.
- [24] Minzhi, L. Study on Fuzzy Evaluation of the Quality of MOOC Teaching Based on AHP / L. Minzhi, S. Qi. – DOI 10.1109/ICCSE.2018.8468850 // 2018 13th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE). – Colombo, Sri Lanka: IEEE Press, 2018. – Pp. 1-4.
- [25] Forecasting the Development of Professional Education / S. M. Markova, S. A. Tsyplakova, C. P. Sedykh, A. V. Khizhnaya, O. N. Filatova. – DOI 10.1007/978-3-030-32015-7_51 // The 21st Century from the Positions of Modern Science: Intellectual, Digital and Innovative Aspects. ISC 2019. Lecture Notes in Networks and Systems; ed. by E. G. Popkova, B. S. Sergi. – Vol. 91. – Springer, Cham, 2020. – Pp. 452-459.

Поступила 17.03.2021; одобрена после рецензирования 26.04.2021; принята к публикации 21.05.2021.



Об авторе:

Кристалинский Владимир Романович, доцент кафедры информатики, физико-математический факультет, ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет» (214000, Российская Федерация, г. Смоленск, ул. Пржевальского, д. 4), кандидат физико-математических наук, доцент, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1205-990X>**, kristivr@rambler.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Apatova N.V., Gaponov A.I., Mayorova A.N. Prediction of student performance based on fuzzy logic. *Modern high technologies*. 2017; (4):7-11. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29117410> (accessed 17.03.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
- [2] Kristalinskii V.R., Belousov V.V. *Prognozirovanie rezul'tatov obucheniya na osnove nechetkogo i haoticheskogo modelirovaniya* [Prediction of learning outcomes based on fuzzy and chaotic modeling]. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2012; (8):680-684. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23020451> (accessed 17.03.2021). (In Russ.)
- [3] Kristalinskii V.R. *Ispol'zovanie sistem nechetkogo vyvoda v prognozirovanii rezul'tatov obucheniya* [Using fuzzy inference systems in predicting learning outcomes]. *Sistemy komp'yuternoj matematiki i ih prilozheniya* = Computer Mathematics Systems and Their Applications. 2011; (12):295-297. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44691416> (accessed 17.03.2021). (In Russ.)
- [4] Boyarinov D.A. The method of consecutive approach to the specified purposes of education within the limits of informational educational space of students' personal development. *World of Science. Pedagogy and Psychology*. 2014; (4):1. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23581557> (accessed 17.03.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
- [5] Grushevsky S.P. Training and information center as a new means of teaching mathematics at the present stage of development of education. Herzen University, SPb; 2001. 142 p. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23326543> (accessed 17.03.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
- [6] Leonenkoff A.V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy Simulation in MATLAB and fuzzyTech]. BHV-Peterburg, SPb; 2005. 736 p. (In Russ.)
- [7] Lukyanenko T.V., Shcheblykin A.G. Prediction of learning outcomes academic group. *Colloquium-journal*. 2018; (2-1):34-35. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32706513> (accessed 17.03.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
- [8] Tashkinov Ju.A. Pedagogical forecasting of educational results of future civil engineers in real time. *Personality in a changing world: health, adaptation, development*. 2020; 8(1):35-45. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.23888/humj2020135-45>
- [9] Tashkinov Ju.A. Forecasting Construction Engineering Students' Learning Outcomes by Means of Computational Pedagogics. *Integratsiya obrazovaniya* = Integration of Education. 2020; 24(3):483-500. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15507/1991-9468.100.024.202003.483-500>
- [10] Kustitskaya T.A. Predicting students' success in learning using Bayesian network. In: Ed. by M. V. Noskov. *Proceedings of the International Conference on Informatization of Education and E-learning Methodology*. Krasnoyarsk, SFU; 2019. p. 257-262. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40646430> (accessed 17.03.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
- [11] Krajewski O.V., Mikhailova A.I. Pedagogical forecasting of course (discipline) mastering. *Vocational Education and Labour Market*. 2019; (2):41-48. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.24411/2307-4264-2019-10207>
- [12] Borisova L.V., Dimitrova L.A., Nurutdinova I.N. Methods of evaluating maturity level of the organization based on fuzzy modeling. *Vestnik of Don State Technical University*. 2017; 17(1):113-121. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.23947/1992-5980-2017-17-1-113-121>
- [13] Dolganov D.N. Model assessment and prediction of academic success. *Journal of experimental education*. 2018; (1):40-54. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32672530> (accessed 17.03.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
- [14] Ayusheeva N.N. Fuzzy modeling of automated control systems. In: Ed. by L. A. Bokhoeva. *Proceedings of the International Conference on Education and Science*. BSU, Ulan-Ude; 2020. p. 219-228. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.18101/978-5-9793-1496-9-219-228>
- [15] Saidova Z.A., Zubairov I.H. Decision-making based on fuzzy modeling of a complex system. *Natural and Technical Sciences*. 2021; (5):212-215. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.25633/ETN.2021.05.14>
- [16] Sakharova L.V., Arapova E.A., Alekseychik T.V., Bogachyov T.V. Assessment of state of atmosphere in region using fuzzy modeling. *Vestnik of Rostov State Economic University (RINH)*. 2018; (3):152-159. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36527857> (accessed 17.03.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
- [17] Tang H.-W.V., Yin M.-S. Forecasting performance of grey prediction for education expenditure and school enrollment. *Economics of Education Review*. 2012; 31(4):452-462. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2011.12.007>
- [18] Bousnguar H., Najdi L., Battou A. Forecasting approaches in a higher education setting. *Education and Information Technologies*. 2022; 27(2):1993-2011. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10684-z>
- [19] Beilin I.L., Khomenko V.V. Theoretical bases of project management in conditions of innovative economy based on fuzzy modeling. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018; 1015(3):032013. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/3/032013>
- [20] Khan A., Kumar S. T-S fuzzy modeling and predictive control and synchronization of chaotic satellite systems. *International Journal of Modelling and Simulation*. 2019;



- 39(3):203-213. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1080/0286203.2018.1563393>
- [21] Castillo O., Melin P. Forecasting of COVID-19 time series for countries in the world based on a hybrid approach combining the fractal dimension and fuzzy logic. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2020; 140:110242. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110242>
- [22] Ivanov M. et al. Fuzzy modeling in human resource management. *E3S Web of Conferences*. 2020; 166:13010. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016613010>
- [23] Maitra S., Madan S., Mahajan P. An Adaptive Neural Fuzzy Inference System for prediction of student performance in Higher Education. *2018 International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN)*. IEEE Press, Greater Noida, India; 2018. p. 1158-1163. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/ICACCCN.2018.8748869>
- [24] Minzhi L., Qi S. Study on Fuzzy Evaluation of the Quality of MOOC Teaching Based on AHP. *2018 13th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*. IEEE Press, Colombo, Sri Lanka; 2018. p. 1-4. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2018.8468850>
- [25] Markova S.M., Tsyplakova S.A., Sedykh C.P., Khizhnaya A.V., Filatova O.N. Forecasting the Development of Professional Education. In: Ed. by E. G. Popkova, B. S. Sergi. *The 21st Century from the Positions of Modern Science: Intellectual, Digital and Innovative Aspects. ISC 2019. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2020; 91:452-459. Springer, Cham. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-32015-7_51

*Submitted 17.03.2021; approved after reviewing 26.04.2021;
accepted for publication 21.05.2021.*

About the author:

Vladimir R. Kristalinskii, Associate Professor of the Department of Computer Science, Faculty of Physics and Mathematics, Smolensk State University (4 Przhhevalsky St., Smolensk 214000, Russian Federation), Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1205-990X>, kristvr@rambler.ru

The author has read and approved the final manuscript.

