

РАСЧЕТ НЕГЭНТРОПИИ И ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ОЦЕНОК НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

О. В. Андриюшкова¹, С. Г. Григорьев²

¹ *Химический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова*
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3

² *Московский городской педагогический университет*
129226, Россия, г. Москва, 2-й Сельскохозяйственный проезд, д. 4, корп. 1

Аннотация

Настоящая статья является логическим продолжением материала, опубликованного в журнале «Информатика и образование» № 6-2018. Авторами рассматриваются вопросы прогнозирования результатов обучения на основании расчета негэнтропии, которую предлагается рассматривать в качестве интегрального информационного показателя, характеризующего качество обучения студентов.

Работа может быть разделена на три этапа и опирается на построение иерархической структуры критериальной системы качества. На первом этапе была разработана анкета для опроса экспертов-преподавателей, в которой необходимо было отметить с точки зрения важности критерии первого и второго уровней, оказывающие влияние на процесс эмергентного обучения. На втором этапе с использованием метода экспертного нормирования был обработан массив экспертных оценок, представляющих собой пример нечеткого множества. В результате были получены весовые коэффициенты по критериям первого и второго уровней. На третьем этапе была проведена дихотомическая оценка критериев третьего уровня и рассчитаны интегральные значения негэнтропии для трех направлений обучения и для модельной ситуации.

Предлагаемые алгоритмы могут быть использованы как для оценки качества уже разработанных онлайн-курсов, продуктов или учебных процессов с их применением, так и для прогнозирования результатов обучения на основе экспертного оценивания.

Ключевые слова: эмергентное обучение, электронное обучение, комбинированное обучение, смешанное обучение, весовой коэффициент критерия, нечеткое множество, прогнозирование результатов обучения, качество обучения, негэнтропия.

DOI: 10.32517/0234-0453-2019-34-1-40-49

Для цитирования:

Андриюшкова О. В., Григорьев С. Г. Расчет негэнтропии и весовых коэффициентов многокритериальных оценок на основе нечетких множеств // Информатика и образование. 2019. № 1. С. 40–49.

Статья поступила в редакцию: 15 октября 2018 года.

Статья принята к печати: 27 ноября 2018 года.

Сведения об авторах

Андриюшкова Ольга Владимировна, канд. хим. наук, доцент, зав. лабораторией методики преподавания химии кафедры общей химии, химический факультет, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова; o.andryushkova@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1566-3427

Григорьев Сергей Георгиевич, доктор тех. наук, профессор, член-корреспондент РАО, зав. кафедрой информатики и прикладной математики, Институт цифрового образования, Московский городской педагогический университет; grigorsg@mgru.ru; ORCID: 0000-0002-0034-9224

Современный педагогический процесс в условиях информатизации образования и цифровизации деятельности общества в целом невозможно представить без применения дистанционных образовательных технологий (ДОТ) и элементов электронного обучения (ЭО), встроенных в традиционный учебный процесс. Стремительное распространение массовых открытых онлайн-курсов (МООК) в образовательном пространстве и их эволюция в зависимости от модели использования в учебном процессе, направления/профиля/специальности и других условий внедрения послужили серьезным импульсом к развитию дискуссий в профессиональном сообществе не только о цифровых школах и университетах, но и о критериях качества для экспертизы, причем не только самих открытых онлайн-курсов (ООК), но и процесса обучения в целом. Вопросам исследования

проблем качества онлайн-образования посвящены работы [1–6], откуда в том числе следует, что этими вопросами активно занимаются в университетах, специальных фондах, общественных организациях и сообществах специалистов онлайн-обучения [7–17]. На основании многочисленных публикаций можно заключить, что наиболее дискуссионными вопросами являются подбор, группировка и ранжирование индикаторов/критериев, влияющих на качество обучения. Однако вопросы учета весовых коэффициентов различных групп критериев остаются открытыми, хотя обработка массива экспертных данных по учету важности или значимости критериев первого, второго или третьего уровней [18, 19] в иерархической педагогической системе может рассматриваться как классическая задача на применение логики нечетких множеств.

В работах [20–23] показано, что алгоритмы логики нечетких множеств применяются для решения различных задач, например, при проектировании информационных систем автоматического контроля знаний и успеваемости студентов, для автоматического извлечения информации из текстовых источников анализа и в других сферах, где необходимо *формально описать явления или понятия, которые имеют многозначные или неточные характеристики*. С этой точки зрения массив экспертных мнений о важности влияния на качество обученности студентов набора критериев первого уровня, таких как: преподаватель; студент; учебно-методическое обеспечение; техническое и технологическое обеспечение; методическая поддержка; внешние требования к образовательной программе и лабораторно-практическая база, является нечетким множеством. Поэтому в нашем исследовании было обработано нечеткое множество экспертных данных для расчета весовых коэффициентов по критериям нескольких уровней с целью получения интегральной информации об эмергентной модели обучения по естественно-научным дисциплинам с последующим расчетом негэнтропии образовательного процесса.

В исследовании [24] предложено использовать термин «*эмергентное или эмерджентное обучение*» для обозначения формы организации и управления образовательной деятельностью в условиях системного подхода к использованию возможностей информационно-коммуникационных технологий и традиционного очного преподавания. Понятия «эмергентность» и «эмерджентизм» [25, 26] применяются в системном анализе и других областях знаний, поэтому представляется логичным, что *системный подход* в педагогике должен приводить к появлению эмергентного или эмерджентного обучения [27]. В условиях реализации эмергентного обучения появляются качественно новые свойства системы, характеризующие образовательный процесс, например, возможность прогнозирования результатов обучения [19].

Расчет весовых коэффициентов по результатам экспертного оценивания критериев, влияющих на качество обученности студентов

В нашей работе [28] на диаграмме Исикавы приведены шесть корневых категорий первого уровня, влияющих на качество обученности студента по естественно-научным дисциплинам, и приведены некоторые критерии второго уровня. Отталкиваясь от имеющихся данных, предлагается добавить еще один базовый критерий, отражающий зависимость от внешних входных требований к образовательной программе. Обобщенная результирующая диаграмма может быть представлена в виде иерархии (рис. 1).

После определения критериев базового уровня, связанных с элементами педагогической системы, были предложены для оценки влияния на качество обученности критерии второго и третьего уровней и на примере базовых критериев «Преподаватель» и «Студент» построена их иерархия (рис. 2, 3). Следует подчеркнуть, что на приведенных рисунках порядок следования критериев был выстроен первоначально интуитивно.

Была разработана анкета для экспертов, в которой предлагалось оценить важность приведенных критериев по шкале от 1 до 5 баллов.

В таблице 1 приведен фрагмент анкеты по критерию «Техническое и технологическое обеспечение» эмергентного учебного процесса. В качестве экспертов были привлечены преподаватели технического и классического университетов: доктора наук, профессора — 30,0 %; кандидаты наук, доценты и старшие преподаватели — 45,0 %; кандидаты наук, научные сотрудники — 5,0 %; аспиранты на педагогической практике — 20,0 %.

Результаты анкетирования экспертов были сведены в таблицу размером $n \times m$, где n — индекс критерия, изменяющийся в интервале от 1 до i , а m — индекс эксперта на множестве от 1 до j .

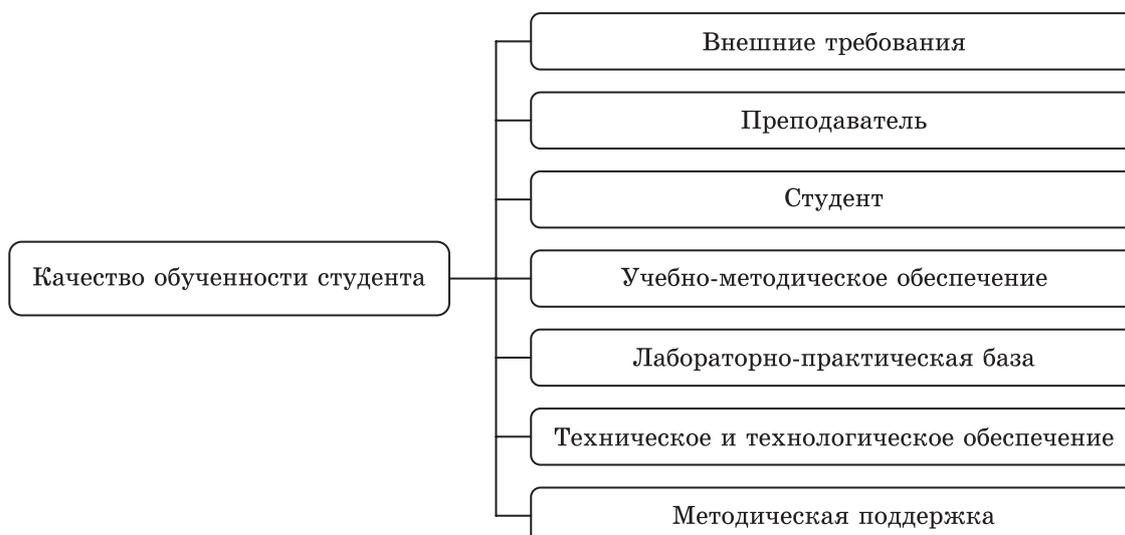


Рис. 1. Базовые критерии, влияющие на качество обучения



Рис. 2. Иерархия критериев второго и третьего уровней для базовой категории «Преподаватель»



Рис. 3. Иерархия критериев второго и третьего уровней для базовой категории «Студент»

Таблица 1

Критерий	Очень важен	Довольно важен	Скорее важен, чем не важен	Скорее не важен, чем важен	Совсем не важен
Техническое и технологическое обеспечение	1	2	3	4	5
Электронная среда обучения					
Вебинары					
Прокторинг					
Виртуальная реальность					
Дополненная реальность					
Интерактивные тренажеры и симуляторы					
Дополнительные коммуникации (чаты, форумы, мессенджеры)					
Информационно-аналитическая сеть образовательной организации					
Экспертиза качества программного обеспечения					

Собранный массив экспертных данных был обработан с помощью алгоритмов нечеткой логики [29–31], исходя из предположения, что нечеткое множество $A = \{\mu_A(x)/x\}$ представлено критериями « x » и μ_A — это функция принадлежности этого критерия — весовой коэффициент критерия.

Результаты расчетов весовых коэффициентов для критериев первого уровня на основе экспертного метода нормирования и последующей сортировки приведены на рисунке 4.

При расчете весов для критериев второго уровня было учтено, что критерии первого уровня не равнозначны, поэтому веса второго уровня были пересчитаны, отсортированы. Надо отметить, что результаты расчетов могут быть представлены в виде диаграммы Исикавы с указанием весов по каждому критерию или представлены в виде таблиц (см. табл. 2).

Необходимо отметить, что для обработки экспертных оценок могут применяться различные методы (парных сравнений, метод Янгера и пр.), используемые в системном анализе, а также программные приложения, например, Fussy Logic Toolbox в MATLAB. Так, в таблице 3 с учетом примеров, приведенных в работах [32–33], предложено для таких показателей, как внешние и внутренние требования к организации учебного процесса и характеристики

электронного учебно-методического комплекса, сформировать системы уравнений для описания функций принадлежности нечетких множеств.

Для получения итоговой интегральной оценки об условиях обучения по дисциплинам химического профиля на основании данных, представленных в таблице 2, и с учетом дихотомической оценки критериев третьего уровня (см. рис. 2, 3) была рассчитана негэнтропия по уравнению:

$$J = \sum_1^n w_i k_i,$$

где w_i — весовой коэффициент критерия i , k_i — значение критерия i . В данном случае негэнтропия является интегральным информационным показателем, характеризующим неравновесную динамическую педагогическую систему в случае реализации модели эмергентного обучения.

В качестве примера использования приведенного алгоритма были рассчитаны негэнтропии для трех направлений, обучение химическим дисциплинам по которым проходит на химическом факультете МГУ имени М. В. Ломоносова. Полученная диаграмма представлена на рисунке 5, где приведены результаты расчета для модельной ситуации, которую можно представить как наиболее благоприятную для



Рис. 4. Весовые коэффициенты для критериев первого уровня, влияющих на качество обученности студентов

Весовые коэффициенты для критериев второго уровня

№ п/п	Критерий	Показатель
1	Весовые коэффициенты (w) по критерию «Лабораторно-практическая база»	
1.1	Лаборатории, практикумы	0,04379
1.2	Материалы, реактивы	0,04362
1.3	Оборудование	0,04330
1.4	Скорость устаревания	0,03280
2	Весовые коэффициенты (w) по критерию «Преподаватель»	
2.1	Уровень компетенций в предметной области	0,02028
2.2	Мотивация к преподаванию	0,01996
2.3	Обеспеченность средствами обучения	0,01969
2.4	Поддержка (методическая, технологическая, организационная)	0,01985
2.5	Уровень компетенций в педагогических технологиях	0,01969
2.6	Уровень ИКТ-компетенций	0,01953
2.7	Регулярное повышение квалификации	0,01937
2.8	Интерактивность	0,01922
3	Весовые коэффициенты (w) по критерию «Студент»	
3.1	Мотивация к обучению	0,03376
3.2	Способность к обучению	0,03280
3.3	Коммуникации и поддержка	0,03168
3.4	Обеспеченность ресурсами	0,03104
3.5	Психологическая готовность для работы в ЭСО	0,03072
4	Весовые коэффициенты (w) по критерию «Внешние требования»	
4.1	Форма образования	0,05920
4.2	Число зачетных единиц на дисциплину	0,05440
4.3	Индикатор достижения компетенции	0,05216
5	Весовые коэффициенты (w) по критерию «Учебно-методическое обеспечение»	
5.1	Банк заданий и задач (ФОС)	0,02010
5.2	Информационно-образовательные ресурсы	0,01983
5.3	Библиотека	0,01969
5.4	Электронные образовательные ресурсы (ЭОР) преподавателей	0,01917
5.5	Экспертиза качества ЭОР	0,01942
5.6	Организационные и нормативные материалы	0,01888
5.7	Скорость устаревания контента	0,01860
6	Весовые коэффициенты (w) по критерию «Техническое и технологическое обеспечение»	
6.1	Электронная среда обучения	0,01405
6.2	Экспертиза качества программного обеспечения	0,01381
6.3	Информационно-аналитическая сеть	0,01356
6.4	Доп. коммуникации (чаты, форумы, мессенджеры)	0,01356
6.5	Интерактивные тренажеры и симуляторы	0,01356
6.6	Вебинары	0,01356
6.7	Прокторинг	0,01356
6.8	Виртуальная реальность	0,01308
6.9	Дополненная реальность	0,01308
7	Весовые коэффициенты (w) по критерию «Методическая поддержка»	
7.1	Методический кабинет	0,06228
7.2	Организационно-распорядительные документы	0,05775

Функции принадлежности термов

Показатель	Термы B_{il}, G_l , $l = 1, 2, 3, 4$ или 5	Функция принадлежности нечетких множеств B_{il}, G_l , $l = 1, 2, 3, 4$ или 5	
1. Внешние требования (ФГОС), внутренние требования (ООП, УП)			
1.1. Индикаторы достижения компетенции (таксономия целей обучения)			
$N = 4$	<ul style="list-style-type: none"> знать и воспроизводить изученный материал 	B_{i1} — «низкий уровень показателя»; G_1 — «1-й терм»	$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \leq x < 0,15; \\ 10(0,25 - x), & \text{если } 0,15 \leq x < 0,25; \\ 0, & \text{если } 0,25 \leq x \leq 1 \end{cases}$
	<ul style="list-style-type: none"> понимать и преобразовывать 	B_{i2} — «средний уровень показателя»; G_2 — «2-й терм»	$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq x < 0,15; \\ 10(x - 0,15), & \text{если } 0,15 \leq x < 0,25; \\ 1, & \text{если } 0,25 \leq x < 0,5; \\ 0, & \text{если } 0,5 \leq x \leq 1 \end{cases}$
	<ul style="list-style-type: none"> уметь и владеть (применять знания, анализировать объекты, интерпретировать результаты) 	B_{i3} — «высокий уровень показателя»; G_3 — «3-й терм»	$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq x < 0,25; \\ 10(x - 0,25), & \text{если } 0,25 \leq x < 0,5; \\ 1, & \text{если } 0,5 \leq x < 0,75; \\ 0, & \text{если } 0,75 \leq x \leq 1 \end{cases}$
	<ul style="list-style-type: none"> быть способным к самостоятельной деятельности (осуществлять синтез, изготавливать материалы и препараты, проводить экспертизу, оценивать качество, развивать, создавать) 	B_{i4} — «очень высокий уровень показателя»; G_4 — «4-й терм»	$\mu_4(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq x < 0,75; \\ 10(x - 0,75), & \text{если } 0,75 \leq x < 0,85; \\ 1, & \text{если } 0,85 \leq x \leq 1 \end{cases}$
1.2. Число зачетных единиц в семестре на дисциплину			
$N = 4$	0–2	B_{i1} — «низкий уровень показателя»; G_1 — «1-й терм»	$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \leq x < 0,1; \\ 10(0,2 - x), & \text{если } 0,1 \leq x < 0,2; \\ 0, & \text{если } 0,2 \leq x \leq 1 \end{cases}$
	2–4	B_{i2} — «средний уровень показателя»; G_2 — «2-й терм»	$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq x < 0,1; \\ 10(x - 0,1), & \text{если } 0,1 \leq x < 0,2; \\ 1, & \text{если } 0,2 \leq x < 0,4; \\ 0, & \text{если } 0,4 \leq x \leq 1 \end{cases}$
	4–5	B_{i3} — «высокий уровень показателя»; G_3 — «3-й терм»	$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq x < 0,4; \\ 10(x - 0,4), & \text{если } 0,4 \leq x < 0,45; \\ 1, & \text{если } 0,45 \leq x < 0,5; \\ 0, & \text{если } 0,5 \leq x \leq 1 \end{cases}$
	5–10	B_{i4} — «очень высокий уровень показателя»; G_4 — «4-й терм»	$\mu_4(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq x < 0,5; \\ 10(x - 0,5), & \text{если } 0,5 \leq x < 0,6; \\ 1, & \text{если } 0,6 \leq x \leq 1 \end{cases}$
1.3. Электронное учебно-методическое обеспечение (онлайн-курс (ОК))			
$N = 5$	<ul style="list-style-type: none"> паспорт на ОК + содержательная экспертиза (СЭ) 	B_{i1} — «очень низкий уровень показателя»; G_1 — «1-й терм»;	$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \leq x < 0,15; \\ 10(0,15 - x), & \text{если } 0,15 \leq x < 0,25; \\ 0, & \text{если } 0,25 \leq x \leq 1 \end{cases}$
	<ul style="list-style-type: none"> паспорт на ОК + СЭ + методическая экспертиза (МЭ) регистрация ОФЭРНиО, ИНФОРМ-РЕГИСТР и пр. 	B_{i2} — «низкий уровень показателя» G_2 — «2-й терм»	$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq x < 0,15; \\ 10(x - 0,15), & \text{если } 0,15 \leq x < 0,25; \\ 1, & \text{если } 0,25 \leq x < 0,35; \\ 10(0,45 - x), & \text{если } 0,35 \leq x < 0,45; \\ 0, & \text{если } 0,45 \leq x \leq 1 \end{cases}$
	<ul style="list-style-type: none"> паспорт на ОК + СЭ + МЭ + эргономическая экспертиза (ЭЭ) регистрация ОФЭРНиО, ИНФОРМ-РЕГИСТР и пр. 	B_{i3} — «средний уровень показателя» G_3 — «3-й терм»	$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq x < 0,35; \\ 10(x - 0,35), & \text{если } 0,35 \leq x < 0,45; \\ 1, & \text{если } 0,45 \leq x < 0,55; \\ 10(0,65 - x), & \text{если } 0,55 \leq x < 0,65; \\ 0, & \text{если } 0,65 \leq x \leq 1 \end{cases}$
	<ul style="list-style-type: none"> паспорт на ОК + СЭ + МЭ + ЭЭ + техническая экспертиза (ТЭ) регистрация ОФЭРНиО, ИНФОРМ-РЕГИСТР и пр. 	B_{i4} — «высокий уровень показателя» G_4 — «4-й терм»	$\mu_4(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq x < 0,55; \\ 10(x - 0,55), & \text{если } 0,55 \leq x < 0,65; \\ 1, & \text{если } 0,65 \leq x < 0,75; \\ 10(0,85 - x), & \text{если } 0,75 \leq x < 0,85; \\ 0, & \text{если } 0,85 \leq x \leq 1 \end{cases}$

Показатель		Термы B_{il}, G_l , $l = 1, 2, 3, 4$ или 5	Функция принадлежности нечетких множеств B_{il}, G_l , $l = 1, 2, 3, 4$ или 5
$N = 5$	<ul style="list-style-type: none"> • паспорт на ОК + СЭ + МЭ + ЭЭ + ТЭ + редакционно-издательская обработка (РИО) • регистрация ОФЭРНиО, ИНФОРМ-РЕГИСТР и пр. • внесение метаописаний об ОК в электронную библиотечную систему университета / института / факультета 	B_{i5} — «очень высокий уровень показателя» G_5 — «5-й терм»	$\mu_5(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq x < 0,75; \\ 10(x - 0,75), & \text{если } 0,75 \leq x < 0,85; \\ 1, & \text{если } 0,85 \leq x \leq 1 \end{cases}$

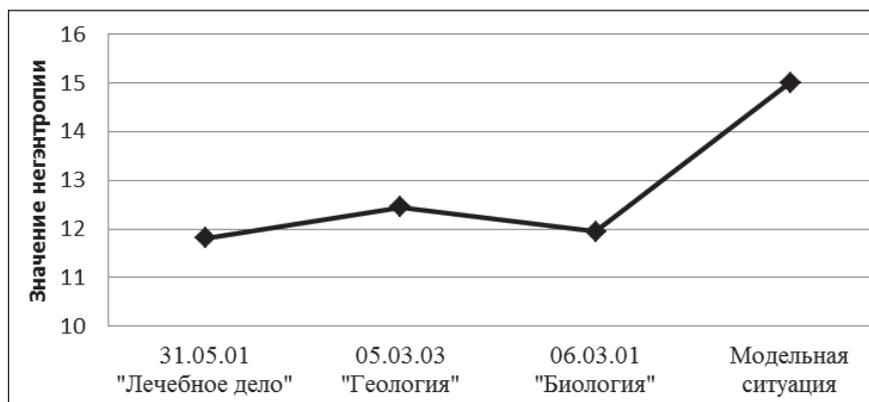


Рис. 5. Расчетное значение неэнтропии для преподавания дисциплин химического профиля на трех направлениях и модельная ситуация

применения эмергентного обучения в учебном процессе, когда все выбранные критерии оцениваются максимальным баллом.

В заключение надо отметить, что полученные результаты могут быть использованы для построения экспертных систем, выработки стандартов качества онлайн-обучения как внутри подразделений образовательной организации, так и на более высоком уровне. То есть, с одной стороны, описанный подход позволяет проводить экспертную оценку уже созданных и работающих курсов и продуктов, а с другой стороны, может быть использован для прогнозирования результатов обучения на стартовом этапе.

Список использованных источников

1. Андреев А. А. Российские открытые образовательные ресурсы и массовые открытые дистанционные курсы // Высшее образование в России. 2014. № 6. С. 150–155.
2. Андреев А. А. Оценка качества онлайн курсов // Территория науки. 2015. № 1. С. 20–26. <https://elibrary.ru/item.asp?id=23937321>
3. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.
4. Круглов В. И., Горленко О. А., Можеева Т. П. Становление и развитие систем качества образовательных учреждений // Высшее образование в России. 2015. № 12. С. 46–51. <https://elibrary.ru/item.asp?id=24993073>
5. Калдыбаев С. К., Бейшеналиев А. Б. Качество образовательного процесса в структуре качества образования // Успехи современного естествознания. 2015. № 7. С. 90–97. <https://elibrary.ru/item.asp?id=24163403>

6. Разработка оценки/критериев качества онлайн-курсов в сфере высшего образования и электронной системы рейтингования // Материалы форума «Интернет + Образование» (г. Москва, 31 мая 2016 года). <https://rutube.ru/video/b385d2cbd589ee1c29564c030e71fed4/>

7. Андреев А. А. Качество онлайн-обучения // Электронное обучение в непрерывном образовании 2017: Труды IV Международной научно-практической конференции (г. Ульяновск, 12–14 апреля 2017 года). Ульяновск: УЛГТУ, 2017. С. 340–344.

8. Open ECBCheck professional community based on certification for E-learning in Capacity Building ECBCheck. <http://www.ecb-check.net/>

9. Quality Matters TM. <https://www.qualitymatters.org/>

10. Asian Association of Open Universities. <http://aaou.upou.edu.ph/>

11. E-learning, California State University. <https://rce.csuchico.edu/online>

12. Penn State Quality Assurance e-Learning Design Standards. <https://weblearning.psu.edu/resources/penn-state-online-resources/penn-state-quality-assurance-e-learning-design-standards/>

13. Агентство по контролю качества образования и развития карьеры. <http://www.akkork.ru/>

14. Сообщество e-Learning PRO. <http://elearningpro.ru/>

15. Национальный исследовательский Томский государственный университет. Институт дистанционного образования. <https://ido.tsu.ru/>

16. Поволжский государственный технологический университет. <https://www.volgatech.net/>

17. Сообщество Платонова В. Н. в Facebook «Online course quality». <https://www.facebook.com/groups/730339183723259/>

18. Андришкова О. В., Григорьев С. Г. Поиск критериев эффективного управления blended learning // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016.

Т. 12. № 3-2. С. 43–49. <http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/view/129>

19. Андрюшкова О. В. Эмергентное обучение и негэнтропия образовательного процесса // Информатика и образование. 2018. № 6. С. 4–10.

20. Zadeh L. A. Fuzzy sets // Information and Control. 1965. Vol. 8. Is. 3. P. 338–353. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S00199586590241X>

21. Рыжов П. А. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. М.: Диалог-МГУ, 1998. 116 с. <http://www.intsys.msu.ru/staff/ryzhov/FuzzySetsTheory&Applications.pdf>

22. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с пол. И. Д. Рудинского. М.: Горячая линия-Телеком, 2008. 383 с.

23. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>

24. Андрюшкова О. В., Григорьев С. Г. Эмергентная или эмерджентная система обучения // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование». 2017. № 5. С. 8. <http://ofernio.ru/portal/newspaper/ofernio/2017/5.pdf>

25. Цветков В. Я. Эмерджентизм // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 2-1. С. 137–138. <https://applied-research.ru/article/view?id=11234>

26. Кудж С. А., Цветков В. Я. Системный подход в диссертационных исследованиях // Перспективы науки и образования. 2014. № 3. С. 26–32. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21695860>

27. Андрюшкова О. В., Григорьев С. Г. Эмергентная система обучения // Информатика и образование. 2017. № 7. С. 17–20.

28. Григорьев С. Г., Андрюшкова О. В. Критерии эффективного использования blended learning // Информатика и образование. 2016. № 8. С. 16–19.

29. Дворяткина С. Н., Розанова С. А. Инновационные педагогические средства автоматического контроля и оценивания математических знаний обучающихся с использованием нечеткой логики // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2014. № 3. С. 74–80. <http://journals.rudn.ru/informatization-education/article/view/6822/6275>

30. Курзаева Л. В. Методы определения значений функций принадлежности нечеткого множества // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12-6. С. 1047–1051. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=10983>

31. Курзаева Л. В., Овчинникова И. Г., Чичилова С. А. К вопросу о совершенствовании методики оценки эффективности решения задач управления качеством образования на основе экспертной информации // Фундаментальные исследования. 2015. № 6-3. С. 473–478. <https://fundamental-research.ru/pdf/2015/6-3/38644.pdf>

32. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

33. Vostroknutov I., Kaneda Y. The possibilities of using modern CASIO CG-50 graphing calculators for volumetric and complex calculations, including fuzzy calculations // 13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing (Warsaw, 26–27 August 2018). Vol. 896. 2018. P. 702–708.

CALCULATION OF THE NEGENTROPY AND WEIGHT COEFFICIENTS OF MULTICRITERIA ESTIMATES ON THE BASIS OF FUZZY SETS

O. V. Andryushkova¹, S. G. Grigoriev²

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Chemistry
119991, Russia, Moscow, Leninskie gory, 1, building 3

² Moscow City University
129226, Russia, Moscow, 2nd Selskhozoyastvenny proezd, 4/1

Abstract

This article is a logical continuation of the material published in the journal “Informatics and Education” № 6-2018. The authors consider the issues of predicting learning outcomes based on the calculation of negentropy, which is proposed to be considered as an integral information indicator characterizing the quality of student learning.

The work can be divided into three stages and is based on the construction of the hierarchical structure of the criteria-based quality system. At the first stage, a questionnaire was developed for the survey of expert teachers, in which it was necessary to note, from the point of view of importance, the criteria of the first and second levels those influence the process of emergent learning. At the second stage, using an expert rationing method, an array of expert estimates was processed, representing an example of a fuzzy set. As a result, weighting coefficients were obtained according to the criteria of the first and second levels. At the third stage, a dichotomous assessment of the third level criteria was carried out and the integrated values of negentropy were calculated for the three directions of training and for the model situation.

The algorithms proposed in the article can be used both to assess the quality of already developed online courses, products or educational processes with their use, and to predict learning outcomes based on expert assessment.

Keywords: emergent learning, e-learning, blended learning, criterion weight, fuzzy set, predicting learning outcomes, quality of learning, negentropy.

DOI: 10.32517/0234-0453-2019-34-1-40-49

For citation:

Andryushkova O. V., Grigoriev S. G. Raschet negehntropii i vesovykh koehffitsientov mnogokriterial'nykh otsenok na osnove nechetkikh mnozhestv [Calculation of the negentropy and weight coefficients of multicriteria estimates on the basis of fuzzy sets]. *Informatika i obrazovanie — Informatics and Education*, 2019, no. 1, p. 40–49. (In Russian.)

Received: October 15, 2018.

Accepted: November 27, 2018.

About the authors

Olga V. Andryushkova, Candidate of Sciences (Chemistry), Associate Professor, Head of the Laboratory of Methods of Teaching Chemistry of the Department of General Chemistry, Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University; o.andryushkova@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1566-3427

Sergey G. Grigoriev, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Corresponding Member of RAE, Head of the Department of Informatics and Applied Mathematics, Institute of Digital Education, Moscow City University; grigorsg@mgpu.ru; ORCID: 0000-0002-0034-9224

References

1. *Andreev A. A.* Rossijskie otkrytye obrazovatel'nye resursy i massovye otkrytye distantsionnye kursy [Russian open educational resources and massive online courses]. *Vysshiee obrazovanie v Rossii — Higher Education in Russia*, 2014, no. 6, p. 150–155. (In Russian.)

2. *Andreev A. A.* Otsenka kachestva onlajn kursov [Evaluation of the quality of online courses]. *Territoriya nauki — Territory of Science*, 2015, no. 1, p. 20–26. (In Russian.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23937321>

3. *Kofman A.* Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv [Introduction to the theory of fuzzy sets]. Moscow, Radio i svyaz, 1982. 432 p. (In Russian.)

4. *Kruglov V. I., Gorlenko O. A., Mozhayeva T. P.* Stanovlenie i razvitie sistem kachestva obrazovatel'nykh uchrezhdenij [The establishment and development of quality systems of educational institutions]. *Vysshee obrazovanie v Rossii — Higher Education in Russia*, 2015, no. 12, p. 46–51. (In Russian.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24993073>

5. *Kaldybaev S. K., Beyshenaliev A. B.* Kachestvo obrazovatel'nogo protsessa v strukture kachestva obrazovaniya [Quality of educational process in the structure of the quality of education]. *Uspekhi sovremennoego estestvoznaniya — Advances in Current Natural Sciences*, 2015, no. 7, p. 90–97. (In Russian.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24163403>

6. Razrabotka ocenki/kriteriev kachestva onlajn-kursov v sfere vysshego obrazovaniya i elektronnoy sistemy reytingirovaniya [Development of quality evaluation/criteria for online courses in higher education and an electronic rating system]. *Materialy foruma "Internet + Obrazovanie" [Proc. Forum "Internet + Education"]*. (In Russian.) Available at: <https://rutube.ru/video/b385d2cbd589ee1c29564c030e71fed4/>

7. *Andreev A. A.* Kachestvo onlajn-obucheniya [The quality of online learning]. *Ehlektronnoe obuchenie v nepreryvnom obrazovanii 2017: Trudy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii [Proc. 4th Int. Conf. "E-learning in continuous education"]*. Ulyanovsk, UISTU, 2017, p. 340–344. (In Russian.)

8. Open ECBCheck professional community based on certification for E-learning in Capacity Building ECBCheck. Available at: <http://www.ecb-check.net/>

9. Quality Matters TM. Available at: <https://www.qualitymatters.org/>

10. Asian Association of Open Universities. Available at: <http://aaou.upou.edu.ph/>

11. E-learning, California State University. Available at: <https://rce.csuchico.edu/online>

12. Penn State Quality Assurance e-Learning Design Standards. Available at: <https://weblearning.psu.edu/resources/penn-state-online-resources/penn-state-quality-assurance-e-learning-design-standards/>

13. Agentstvo po kontrolyu kachestva obrazovaniya i razvitiya kar'ery. [Agency for quality control of education and career development]. (In Russian.) Available at: <http://www.akkork.ru/>

14. Soobshhestvo e-Learning PRO. [e-Learning PRO community]. (In Russian.) Available at: <http://elearningpro.ru/>

15. Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij gosudarstvennyj universitet. Institut distantsionnogo obrazovaniya. [National Research Tomsk State University. Institute of

Distance Education]. (In Russian.) Available at: <https://ido.tsu.ru/>

16. Povolzhskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet [Volga State University of Technology]. (In Russian.) Available at: <https://www.volgatech.net/>

17. Soobshhestvo Platonova V. N. v Facebook "Online course quality". [V. N. Platonov's community on Facebook "Online course quality"]. (In Russian.) Available at: <https://www.facebook.com/groups/730339183723259/>

18. *Andryushkova O. V., Grigoriev S. G.* Poisk kriteriev ehffektivnogo upravleniya blended learning [Searching criteria for effective management of blended learning]. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie — Modern Information Technologies and IT-Education*, 2016, vol. 12, no. 3-2, p. 43–49. (In Russian.) Available at: <http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/view/129>

19. *Andryushkova O. V.* Ehmergentnoe obuchenie i negehtropiya obrazovatel'nogo protsessa [Emergent learning and negentropy of educational process]. *Informatika i obrazovanie — Informatics and Education*, 2018, no. 6, p. 4–10. (In Russian.)

20. *Zadeh L. A.* Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, vol. 8, is. 3, p. 338–353. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S00199586590241X>

21. *Ryzhov P. A.* Ehlementy teorii nechetkikh mnozhestv i izmereniya nechetkosti. [Elements of the theory of fuzzy sets and fuzziness measurements]. Moscow, Dialog-MGU, 1998. 116 p. (In Russian.) Available at: <http://www.intsys.msu.ru/staff/ryzhov/FuzzySetsTheory&Applications.pdf>

22. *Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkovsky L.* Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom, 2008. 383 p. (In Russian.)

23. *Shtovba S. D.* Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku. [Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic]. (In Russian.) Available at: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>

24. *Andryushkova O. V., Grigoriev S. G.* Ehmergentnaya ili ehmerdzhentnaya sistema obucheniya [Emergent or emergent education system]. *Khroniki ob'edinennogo fonda ehlektronnykh resursov "Nauka i obrazovanie" — Chronicles of the Joint Fund of the Electronic Resources "Science and Education"*, 2017, no. 5, p. 8. (In Russian.) Available at: <http://ofernio.ru/portal/newspaper/ofernio/2017/5.pdf>

25. *Tsvetkov V. Ya.* Ehmerdzhentizm [Emergentism]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy — International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2017, no. 2-1, p. 137–138. (In Russian.) Available at: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11234>

26. *Kudzh S. A., Tsvetkov V. Ya.* Sistemnyj podkhod v dissertatsionnykh issledovaniyakh [Systematic approach to the dissertation research]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya — Perspectives of Science and Education*, 2014, no. 3, p. 26–32. (In Russian.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21695860>

27. *Andryushkova O. V., Grigoriev S. G.* Ehmergentnaya sistema obucheniya [Emergent learning]. *Informatika i obrazovanie — Informatics and Education*, 2017, no. 7, p. 17–20. (In Russian.)

28. *Grigoriev S. G., Andryushkova O. V.* Kriterii ehffektivnogo ispol'zovaniya blended learning [Criteria of effective use of blended learning]. *Informatika i obrazovanie — Informatics and Education*, 2016, no. 8, p. 16–19. (In Russian.)

29. *Dvoryatkina S. N., Rozanova S. A.* Innovatsionnye pedagogicheskie sredstva avtomaticheskogo kontrolya i otsenivaniya matematicheskikh znaniy obuchayushhikhsya s ispol'zovaniem nechetkoj logiki [Innovative teaching tools automatic control and evaluation of trainees's mathematical knowledge using fuzzy logic]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Informatizatsiya obrazovaniya — Bulletin of People's Friendship University of Russia. Series Informatization of Education*, 2014, no. 3, p. 74–80. (In Russian.) Available at: <http://journals.rudn.ru/informatization-education/article/view/6822/6275>

30. *Kurzaeva L. V.* Metody opredeleniya znachenij funktsij prinadlezhnosti nechetkogo mnozhestva [Methods of determining the values of the membership functions of fuzzy sets]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy — International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2016, no. 12-6, p. 1047–1051. (In Russian.) Available at: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=10983>

31. *Kurzaeva L. V., Ovchinnikova I. G., Chichilanova S. A.* K voprosu o sovershenstvovanii metodiki otsenki ehffektivnosti resheniya zadach upravleniya kachestvom obrazovaniya na osnove ehkspertnoj informatsii [To an issue of methodology improvement of assessment of efficiency of problem solution for managing education quality on the basis of expert information]. *Fundamental'nye issledovaniya — Fundamental Research*, 2015, no. 6-3, p. 473–478. (In Russian.) Available at: <https://fundamental-research.ru/pdf/2015/6-3/38644.pdf>

32. *Leonenkov A. V.* Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH [Fuzzy simulation in MATLAB and fuzzyTECH]. Saint-Petersburg, BKHV-Peterburg, 2005. 736 p. (In Russian.)

33. *Vostroknutov I., Kaneda Y.* The possibilities of using modern CASIO CG-50 graphing calculators for volumetric and complex calculations, including fuzzy calculations. *Proc. 13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing*. Vol. 896. 2018, p. 702–708.

НОВОСТИ

В МИРЭА открыт учебный центр «Индустрия 4.0: Цифровое роботизированное производство»

Учебный центр «Индустрия 4.0: Цифровое роботизированное производство» открыт в МИРЭА — Российском технологическом университете 5 февраля 2019 года.

В открытии центра приняли участие министр цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации Константин Носков, заместитель министра промышленности и торговли Российской Федерации Олег Бочаров, президент МИРЭА Александр Сигов, ректор МИРЭА Станислав Кудж, президент АВВ в России Ирина Козлова, региональный директор В&R по Восточной Европе Вольфганг Першель и др.

Учебный центр включает в себя четыре новые лаборатории, которые охватывают все аспекты проектирования так называемых «Фабрик будущего». В лабораториях центра установлены более 20 роботов различного типа и назначения, а также специализированные стенды для исследования элементной базы промышленных систем управления.

Уникальной особенностью центра является то, что он ориентирован на одновременное обучение учебных групп в 16–20 человек, в то время как подавляющее большинство аналогов в России и за рубежом рассчитаны на одновременную работу 4–6 человек или повсеместное выполнение заданий бригадами.

Еще одной важной особенностью центра является то, что все составляющие технологического оборудования, включая единую цифровую систему жизне-

обеспечения лабораторий, не скрыты, а, напротив, демонстрируются студентам в качестве наглядного примера того, как решаются те или иные технические задачи в робототехнике и управлении технологическими процессами.

В таких лабораториях студенты смогут не только получить навыки программирования и наладки робототехнических комплексов, но и понять, как эти системы устроены изнутри, чтобы в дальнейшем в качестве инженеров принять участие в разработке новых образцов техники для российской промышленности.

«Государство инвестирует огромные ресурсы и делает очень многое для того, чтобы быть на пике технологического развития, — заявил глава Минкомсвязи России Константин Носков на презентации нового учебного центра. — Роботизированное производство, которое работает в тесной связке с искусственным интеллектом и интернетом вещей, — одно из тех технологических направлений, в которых мы должны быть одним из лидеров. И меня очень радует, что МИРЭА чувствует эти вызовы времени. Открытие сегодняшнего центра — это очень правильный шаг, и такие шаги надо поддерживать».

Константин Носков выразил надежду, что студенты МИРЭА не только научатся работать на роботах, которыми оборудован учебный центр «Индустрия 4.0», но в будущем и сами соберут роботизированную линию.

(По материалам, предоставленным пресс-службой Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ и пресс-службой МИРЭА)