

УДК 021.8+025

**Н.П. Букалова, А.Ю. Букалова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕГЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА  
К УПРАВЛЕНИЮ УРОВНЕМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ  
ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ**

Рассматривается возможность применения негэнтропийного подхода к комплексной оценке уровня сформированности компетенций на основе композиций линейно-нелинейных сверток оценочных данных, а также для возможности осуществления процедуры декомпозиции рассогласования текущего значения уровня профессиональной подготовки с желаемым для обоснования коррекции образовательного процесса. Данный подход основан на оценке полученной полезной информации студентом в ходе образовательного процесса и оценочных данных по дисциплинам, характеризующим эффективность усвоения учебного материала.

**Ключевые слова:** профессиональная подготовка, оценочные данные, компетенции, негэнтропия, комплексное оценивание, декомпозиция, коррекция образовательного процесса.

**N.P. Bukalova, A.Iu. Bukalova**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**APPLICATION NEGENTROPY APPROACH  
BY CONTROLLING THE LEVEL OF PROFESSIONAL  
TRAINING OF STUDENTS**

The possibility of using negentropy approach to a comprehensive assessment of the level of formation of competences on the basis of compositions of linear-nonlinear convolutions estimates, as well as to the possibility of the procedure of decomposition mismatch current value of the professional level of the desired corrections to support the educational process. This approach is based on an assessment of useful information a student during the educational process and evaluation data on the disciplines characterizing the efficiency of learning.

**Keywords:** training, estimates, competence, negentropy, comprehensive assessment, decomposition, correction of the educational process.

## **Введение**

В российских условиях модернизация высшего профессионального образования дополняется переходом от знаниевой парадигмы к компетентностному подходу. Целью компетентностного подхода является обеспечение качества образования, а суть образовательного процесса в условиях компетентностного подхода состоит в создании ситуации и поддержке действий, которые могут привести к формированию той или иной компетенции выпускника вуза [1].

Для достижения высокого уровня профессиональной подготовки будущих специалистов система образования требует новых подходов как к обучению, так и к оцениванию учебных результатов – уровня сформированности. С другой стороны, уровень профессиональной подготовки является важной характеристикой качества образовательного процесса для абитуриентов, работодателей и преподавателей выпускающей кафедры [2].

Переход системы образования от знаниевой ориентации на компетентностно-ориентированную подготовку делает все более актуальной задачу разработки процедур оценивания учебных результатов.

Оценка уровня сформированности набора компетенций, которым выпускнику необходимо обладать, должна носить комплексный характер и учитывать непрерывность формирования компетенций. Полученная оценка результатов образования должна обеспечивать возможность процедуры коррекции образовательного процесса на всех его этапах.

### **1. Применение негэнтропийного подхода к оценке сформированности компетенций**

Ориентация современного образования на компетентностный подход приводит к возникновению сложностей процедуры оценивания учебных результатов.

Процедура измерения уровня сформированности компетенций у студентов усложняется в связи с многомерностью оценочных данных, характеризующих образовательный результат, в то время как для управления необходима одномерная комплексная оценка текущего уровня профессиональной подготовки.

Исходной позицией оценки уровня сформированности компетенций студента и последующей разработки алгоритмического комплекса

автоматизированного управления уровнем профессиональной подготовки может служить теоретико-множественная модель процесса профессиональной подготовки, которая включает набор компетенций  $F$ , разбитых на группы по каждому контуру управления  $\gamma = \mathbb{Z}|\mathbb{U}|\mathbb{B}$ , с трудоемкостями  $T_{j,d}^\gamma$  и с оценочными данными  $x_{j,d}^\gamma$ ,  $x_{j,d} = x_{j,d}^{\text{инд}} \mid x_{j,d}^{\text{ср}}$  ((1), (2), (3)), соответствующими индивидуальным или усредненным значениям:

$$T^\gamma = \sum_{j=1}^J T_j^\gamma = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{I_j} \sum_{d=1}^{D_{j,d}} T_{j,i,d}^\gamma \left\{ \left\{ \left\{ x_{j,i,d}^\gamma; d \in D_{j,i} \right\} i = \overline{1, I_j} \right\} j = \overline{1, J} \right\}, \quad (1)$$

$$T_j^\gamma = \sum_{i=1}^{I_j} T_{j,i}^\alpha = \sum_{i=1}^{I_j} \sum_{d=1}^{D_{j,i}} T_{j,i,d}^\gamma \left\{ \left\{ x_{j,i,d}^\gamma; d \in D_{j,i} \right\} i = \overline{1, I_j} \right\}, \quad (2)$$

$$T_{j,i}^\gamma = \sum_{d=1}^{D_{j,i}} T_{j,i,d}^\gamma \left\{ x_{j,i,d}^\gamma; d \in D_{j,i} \right\}. \quad (3)$$

Другим проявлением сложности процедуры измерения текущего уровня профессиональной подготовки является различная значимость одинаковых результатов оценки по разным дисциплинам основной образовательной программы с использованием универсальной оценочной шкалы независимо от их трудоемкости. Для устранения этого препятствия на первом шаге обработки результатов измерения, при оценке объема полученной обучаемыми информации, вполне оправдано использование информационных походов, в частности негэнтропийного. Эффективный информационный метод обработки оценочных данных может быть построен на основе негэнтропийного подхода, который рассматривает приращение количества информации, поступающей в систему в результате определенного образовательного процесса. На фоне множества различных определений понятия «негэнтропия» [3, 4] предпочтение отдано следующему: негэнтропия есть количество информации, равное разности между начальной (до получения сообщения) и конечной (после получения сообщения) энтропии, как величина, обратная энтропии, выражающая в данном приложении упорядоченность знаний обучаемых в ходе образовательного процесса. В основе предлагаемого подхода к измерению объема информации (негэнтропии), накапливаемой студентами при усвоении учебного материала,

лежит закон итеративного научения [5], утверждающий для ряда допущений экспоненциальный вид кривой научения и имеющий место в широком классе явлений: формирование разнообразных навыков, усвоение информации человеком и т.д.

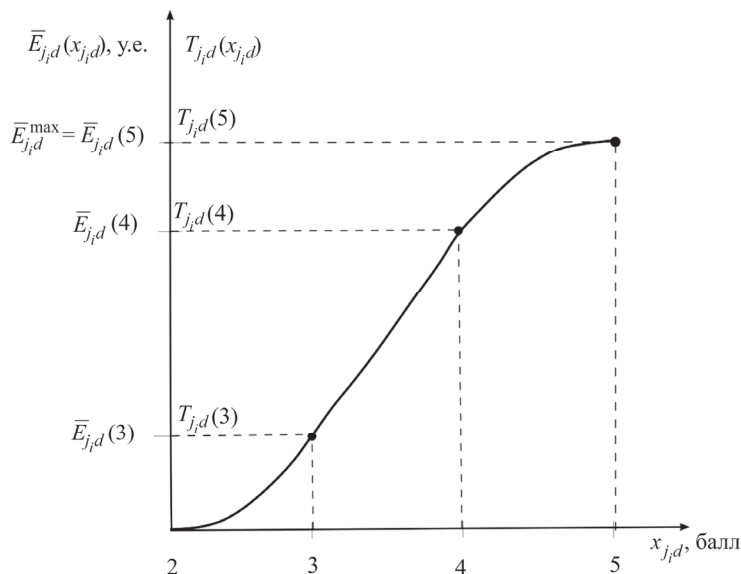


Рис. 1. Зависимость количества фактически накопленной негэнтропии, в условных единицах, от оценочных данных, в шкале  $\overline{2,5}$

Ввиду сложности процедур количественной оценки негэнтропии в битах целесообразен переход к другим шкалам, связанным с трудоемкостью педагогических технологий. Возможность количественного оценивания негэнтропии открывает путь к внесению элементов семантики в оценочные данные и свертки последних в комплексную оценку с учетом предпочтений заинтересованных лиц. Текущий уровень сформированности компетенций предлагается сопоставлять с количеством информации  $\overline{E}_{j,d}$ , усвоенной обучаемым в ходе негэнтропийного процесса, измеряемым в условных единицах. При этом под введенной условной единицей количества негэнтропии (у.е.) понимается количество информации, усваиваемое в сложившихся педагогических условиях за один час студентом, успешно справляющимся с усвоением информации, предусмотренной дисциплиной  $d$ , ровно за  $T_{j,d}$  часов, отведенных на эту дисциплину. Из этого следует, что максимальное ко-

личество информации в установленных ранее у.е., предлагаемое к усвоению при изучении каждой дисциплины, численно кратно ее трудоемкости, а в частном случае совпадает.

Оценочные данные  $x_{jid}$ , характеризующие успеваемость по конкретным дисциплинам, можно привести к негэнтропийным оценкам, опираясь на значения трудоемкости этих дисциплин  $T_{j,d}$  с помощью экспертно устанавливаемых кривых научения [5]  $\bar{E}_{jid}(T_{jid}, x_{jid})$  (рис. 1).

## 2. Разработка алгоритмов интеллектуальной поддержки комплексного оценивания уровня профессиональной подготовки студентов

Поскольку компетенция имеет сложную междисциплинарную структуру и не может быть сформирована в рамках одной дисциплины, возникает следующая сложность процедуры оценивания образовательных результатов. Для устранения этого препятствия и учета информационного вклада нескольких дисциплин в уровень сформированности отдельной компетенции на следующем шаге процедуры измерения предлагается использовать метод взвешенных коэффициентов по важности дисциплин, участвующих в данном процессе. Комплексная негэнтропийная оценка  $\bar{E}_j$  уровня сформированности компетенции определяется следующим образом (4):

$$\bar{E}_j = \sum_d^{\rho_{ij}^D} k_d \bar{E}_{i,j}(x_{i,j,d}), \quad \bar{E}_{i,j} \in (0,1], \quad \forall k_d \in (0,1), \quad \sum_{d \in \rho_{ij}^D} k_d = 1, \quad (4)$$

где  $k_d$  – коэффициенты важности вклада каждой дисциплины в формирование данной компетенции с использованием процедуры нормализации этих коэффициентов на интервале (0, 1).

Уровень сформированности групп компетенций в форме «усредненного» количества негэнтропии  $\bar{E}_j$  может быть определен с использованием метода взвешенных коэффициентов. Эффективность данного метода можно повысить достаточным обоснованием порядка на множестве показателей. Комплексное оценивание формирования групп компетенций будет описываться линейной сверткой.

$$\bar{E}_j = \sum_{i=1}^{I_j} k_i^j \bar{E}_{i,j}, \quad \forall k_i^j \in (0,1), \quad \sum_{i=1}^{I_j} k_i^j = 1, \quad (5)$$

где  $k_i^j$  – взвешенные коэффициенты, отражающие степень важности компетенций в группе.

В качестве итоговой свертки уровней сформированности групп компетенций, отличающихся существенным расхождением предметных областей, рекомендуется использовать авторские нелинейные (матричные) свертки, обладающие большей гибкостью, чем линейные [6].

На рис. 2 представлена структура алгоритма агрегирования данных о накопленной у студентов негэнтропии на всех этапах образовательного процесса в комплексную оценку.

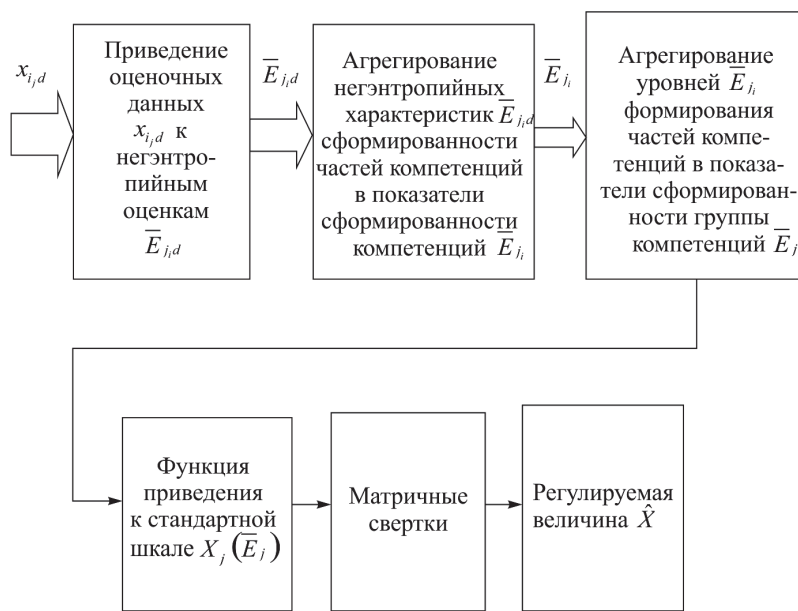


Рис. 2. Алгоритм интеллектуальной поддержки комплексного оценивания уровня профессиональной подготовки

Разработанный алгоритм интеллектуальной поддержки комплексного оценивания уровня профессиональной подготовки отличается композицией линейно-нелинейной свертки, служащей основой для создания эталонного механизма комплексного оценивания повышенной точности и рабочего механизма, позволяющего локализовать проблемные места образовательного процесса.

Алгоритмы агрегирования оценочных данных представлены традиционными методами определения уровня профессиональной подготовки студентов – арифметического усреднения всех оценочных данных и арифметического усреднения оценок  $j$ -х групп компетенций в виде линейных (6), (7) сверток. Разработанные инновационные методы основываются на линейно-нелинейных отношениях, которые являются основой для построения рабочего и эталонного механизмов комплексного оценивания. Оба механизма отличаются объектами усреднения: оценочными данными по дисциплинам контингента обучаемых (8) и индивидуальными комплексными оценками уровней профессиональной подготовки студентов (9) соответственно, а также сферой использования.

Методы определения уровня профессиональной подготовки студентов:

1) метод усреднения оценочных данных по дисциплинам всего контингента студентов:

$$\bar{x}_1^*(t_0) = \frac{\left( \sum_d^{D(t_0)} \left( \frac{\sum U x_d^*(t_0)}{U} \right) \right)}{|D(t_0)|}, \quad (6)$$

где  $x_d^*$  – оценка по дисциплине  $d$  всего контингента студентов  $U$ ;  $D(t_0)$  – множество дисциплин  $d$ , пройденных и оцененных на момент времени  $t_0$ ;

2) метод арифметического усреднения оценок  $j$ -х групп компетенций с их линейной сверткой на заключительном этапе:

$$\bar{x}_2^*(t_0) = \sum k_j^i x_j^*(t_0), \quad (7)$$

где  $k_j^i$  – взвешенные коэффициенты, ранжированные по степени важности компетенций в группе с использованием процедуры нормализации коэффициентов в промежутке  $(0, 1)$ ;  $x_j^*(t_0)$  – средняя оценка  $j$ -й группы компетенций;

3) рабочий механизм, основанный на негэнтропийном подходе и композиции линейно-нелинейных сверток с предварительным усред-

нением индивидуальных оценочных данных по дисциплине  $d$  всего контингента студентов:

$$x_{\text{ннл}}(t_0) = x_{\text{ннл}}(\bar{x}_d(t_0)), \quad (8)$$

где  $x_{\text{ннл}}(\bar{x}_d(t_0))$  – комплексная оценка сформированности компетенций всего контингента группы обучаемых с предварительным усреднением индивидуальных оценочных данных по дисциплинам  $\bar{x}_d(t_0)$ ;

4) эталонный стандартизированный механизм измерения уровня сформированности набора компетенций

$$\bar{x}_{\text{ннл}}(t_0) = \sum \frac{x_{\text{ннл}}(x_i)}{U}. \quad (9)$$

Таким образом, предложенная многоступенчатая линейно-нелинейная свертка оценочных данных может служить измерителем текущего уровня профессиональной подготовки студентов – одной из двух величин, характеризующих рассогласование в системе управления образовательным процессом.

### 3. Разработка интеллектуальной поддержки обоснования коррекций образовательного процесса

Алгоритмы интеллектуальной поддержки агрегирования оценочных данных в комплексную оценку ориентированы на возможность осуществления обратной процедуры декомпозиции для локализации проблемных мест образовательного процесса, алгоритмы которой представлены на рис. 3.

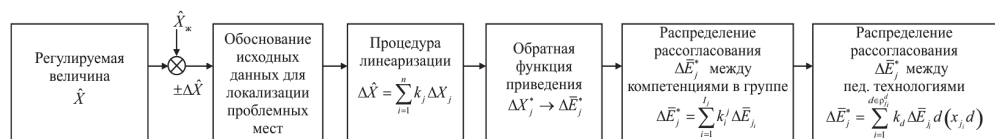


Рис. 3. Алгоритм интеллектуальной поддержки обоснования коррекции образовательного процесса

Исходной позицией для решения задачи обоснования параметров коррекции являются комплексная оценка уровня профессиональной подготовки  $\Delta\hat{X}$  со всей совокупностью промежуточных результатов вычисления свертки и планируемое приращение комплексной оценки  $\Delta\hat{X}$ . Указанные цели управления могут быть достигнуты разнонаправ-



ленными действиями, касающимися варьирования педагогическими, дидактическими условиями, организационно-управленческими мероприятиями в рамках полномочий менеджера ООП.

Этапы декомпозиции соответствуют обратному порядку построения линейно-нелинейной свертки оценочных данных. На первом этапе задача решается на основе линеаризации матричной свертки с использованием функции чувствительности матричной свертки, а на втором – промежуточных результатов линейных сверток с учетом исходных данных.

Таким образом, для менеджера ООП существенно снижается размерность управленческой задачи при максимальном использовании его опыта и знаний контекстных ситуаций, накапливаемых в ходе практической работы или обучения методом имитационных деловых игр.

### **Заключение**

Предложенный негэнтропийный подход к оценке результатов обучения обеспечивает «квантируемость» уровня профессиональной подготовки, что соответствует принципу измерения в системе управления уровнем профессиональной подготовки студентов. Негэнтропийный подход позволяет взвешивать первичную для управления информацию (оценочные данные по дисциплинам) с точки зрения получения адекватной образовательным целям комплексной оценки для построения последующей процедуры декомпозиции, необходимой для обоснования коррекций образовательного процесса.

### **Список литературы**

1. Матушкин Н.Н., Пахомов С.И., Столбова И.Д. Формирование компетенций на основе процессного подхода // Университетское управление: практика и анализ. – 2011. – № 1. – С. 58–63.
2. Харитонов В.А., Данилов А.Н., Букалова А.Ю. Алгоритмические основы автоматизированного управления уровнем профессиональной подготовки бакалавров // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Математическое моделирование и программирование. – 2013. – Т. 6, № 4. – С. 108–115.
3. Волькенштейн М.В. Энтропия и информация. – М.: Наука, 1986. – 192 с.

4. Петров Ю.П. Информация и энтропия в кибернетике. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. – 246 с.

5. Новиков Д.А. Закономерности итеративного научения. – М.: Институт проблем управления РАН, 1998. – 77 с.

6. Интеллектуальные технологии обоснования инновационных решений: моногр. / В.А. Харитонов [и др.]; под ред. В.А. Харитонова. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 342 с.

### References

1. Matushkin N.N., Pakhomov S.I., Stolbova I.D. Formirovanie kompetentsii na osnove protsessnogo podkhoda [Formation of competence on the basis of the process approach]. *Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz*, 2011, no. 1, pp. 58-63.

2. Kharitonov V.A., Danilov A.N., Bukalova A.Iu. Algoritmicheskie osnovy avtomatizirovannogo upravleniia urovnem professional'noi podgotovki bakalavrov [Algorithmic foundations of automated management level training bachelors]. *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta: Seriya "Matematicheskoe modelirovanie i programmirovaniie"*, 2013, vol. 4, no. 4, pp. 108-115.

3. Vol'kenshtein M.V. Entropiia i informatsiia [Entropy and information]. Moscow: Nauka, 1996, 192 p.

4. Petrov Iu.P. Informatsiia i entropiia v kibernetike [Information and entropy in cybernetics]. Lipetsk: Lipetskii gosudarstvennyi universitet, 1989, 246 p.

5. Novikov D.A. Zakonomernosti iterativnogo naucheniia [Laws of the iterative learning]. Moscow: Institut problem upravleniia Rossiiskoi akademii nauk, 1998, 77 p.

6. Kharitonov V.A. [et al.] Intellektual'nye tekhnologii obosnovaniia innovatsionnykh reshenii [Intelligent technologies of justification of innovative decisions under supervision]. Ed. by V.A. Kharitonov. Perm: Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2010, 342 p.

Получено 15.01.2015

### **Об авторах**

**Букалова Наталья Павловна** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [bukalova.n.p@mail.ru](mailto:bukalova.n.p@mail.ru)).

**Букалова Алина Юрьевна** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [alina\\_bukalova@mail.ru](mailto:alina_bukalova@mail.ru)).

### **About the authors**

**Natal'ia P. Bukalova** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Heat, Ventilation and Water supply, Sanitation, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: [bukalova.n.p@mail.ru](mailto:bukalova.n.p@mail.ru)).

**Alina Iu. Bukalova** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction Engineering and Materials Science, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: [alina\\_bukalova@mai.ru](mailto:alina_bukalova@mai.ru)).