

ИНФОРМАЦИОННО-ЭНТРОПИЙНЫЙ АНАЛИЗ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МАРШРУТОВ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



А.Г. Давыдовский

*Доцент кафедры инженерной
психологии и эргономики БГУИР,
кандидат биологических наук, до-
цент, Республика Беларусь*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, БГУИР, каф. ИПиЭ, 220013, Минск, Беларусь, тел. +375 17 2938524
E-mail: agd2011@list.ru*

Abstract. The aim of this work was the justification for the criteria information-entropic analysis of prediction of individual educational route in terms of continuing education in preparing future specialists in the area of information technologies (IT) at the Technical University. Prospective design of individual educational route of the future specialists in the IT-area that allows their professional identity. A significant increase in management effectiveness of individual educational route of future IT-specialties in modern Technical University in terms of the concept of continuing professional education can be achieved through the use of models and methods of information-entropy analysis, and numerical simulation with application of technologies of processing large amounts of data Big Data. The criteria and approaches of information and entropy analysis may be used to predict and control the formation of individual educational route of future IT-specialists on the basis of a set of professional competences of IT-specialists, and also to predict professional reliability and efficiency of the IT-staff at change of functional responsibilities in an unstable business climate.

Целью работы являлось обоснование критериев информационно-энтропийного анализа прогнозирования индивидуального образовательного маршрута в условиях непрерывного образования на современном этапе развития подготовки специалистов в сфере информационно-коммуникационных технологий в техническом университете.

Актуальность. Одной из актуальных проблем совершенствования высшего технического образования является проектирование и институциональное обеспечение индивидуальных образовательных маршрутов (ИОМ) студентов технического университета - будущих специалистов в IT (informational technologies)-сфере. Перспективное проектирование ИОМ будущих специалистов в IT-сфере обеспечивает возможность их профессионального самоопределения на основе сочетания нескольких ИОМ, реализуемых одновременно или последовательно [1] в условиях непрерывного профессионального образования, которое является процессом роста образовательного (общего и профессионального) потенциала личности на протяжении

нии всей жизни, организационно обеспеченный системой государственных и общественных институтов и соответствующий потребностям личности и общества. Непрерывное профессиональное образование (continuous vocational education – CVE) направлено на формирование позитивной установки на непрерывное образование и мотивирование профессионального роста и карьеры, обогащение социально-профессиональной и специальной компетентности специалиста, развитие аутокомпетентности, обеспечение социально-профессионального самосохранения специалиста, формирование новых сценариев профессионального образования и развития, а также адекватных им репертуаров профессионального поведения. Непрерывное профессиональное образование обеспечивает и сопровождает профессиональное становление личности, включая совокупность преемственных образовательных программ начального, среднего, высшего, последиplomного и дополнительного профессионального образования. Непрерывное профессиональное образование тесно связано с дополнительным и последиplomным образованием (advanced vocational education – AVE) относится к взрослым и включает формальное, неформальное и информальное образование.

В условиях реализации CVE- и AVE-концепций в техническом университете существенного повышения эффективности управления ИОМ студентов IT-специальностей можно достичь на основе использования моделей и методов информационно-энтропийного анализа (ИЭА), а также численного моделирования с применением технологий обработки больших массивов данных Big Data .

Формы непрерывного профессионального образования IT-специалистов. Необходимо отметить, что ИОМ может быть реализован в различных формах, таких как формальное профессиональное, неформальное, информальное, адаптационное и параллельное профессиональное образование [1, 2], представленных на рисунке 1.

Формальное профессиональное образование осуществляется в образовательных учреждениях по лицензированным программам.

Неформальное образование включает в себя повышение квалификации, переподготовку и подготовку специалистов в институтах повышения квалификации, в отделах развития персонала на предприятиях и организациях, так называемое корпоративное и внутрифирменное обучение.

Информальное образование – это попутное обучение в ходе выполнения деятельности, имеющей иную цель, не образовательную. Общение с окружающими, чтение и восприятие информации средств массовой коммуникации в течение всей жизни обогащают человека новыми знаниями, умениями, способами мышления, формами поведения, практическими действиями. Информальное образование происходит также в процессе активного освоения профессиональной деятельности на стадиях профессиональной адаптации, т. е. адаптивное научение.

Адаптационное образование осуществляется на рабочем месте в виде наставничества, курсовой модульной доподготовки и супервизорства. Необходимость этой формы последипломного образования обусловлена тем, что профессионально-образовательные программы учебных заведений не ориентированы на подготовку специалистов для конкретного учреждения, предприятия и организации. Основная функция адаптационного образования – ознакомление с условиями и режимом труда, ориентировка в пространственно-технологической среде, приобретение опыта выполнения нормативной профессиональной деятельности.

Параллельное профессиональное образование осуществляется в случаях перекалфикации и переподготовки специалистов из-за смены профессии, специальности или длительного вынужденного перерыва в работе. Оно направлено на получение новой или смежной профессии в профессионально-образовательных центрах или вузах. Назначение параллельного профессионального образования – расширение возможностей трудоустройства специалиста, повышение его профессиональной мобильности и конкурентоспособности.

Событийное образование – попутное образование человека в течение всей его жизни. Это непреднамеренный, нормативно неорганизованный процесс переживания событий жизни, взаимодействия с окружающими, живой и неживой природой, социально-профессиональным окружением, средствами массовых коммуникаций. События, приобретая личностный смысл, побуждают человека к принятию важных, подчас судьбоносных решений, актуализируют рефлексию прошлого и настоящего, стимулируют личностное и профессиональное развитие. Есть все основания рассматривать жизненные события как разновидность информального образования – важного фактора формирования образованности человека. В результате событийного образования возникают жизненный опыт, социально-профессиональная компетентность, социально-нравственная направленность – мотивы, отношения, ценности, ментальность.

Посредством ИОМ личность выступает субъектом автопроектирования профессиональной биографии на основе индивидуальных учебных планов и программ обучения, выбора обучающих модулей, набора показателей академической успеваемости, образовательных и профессиональных компетенций, профессионально-психологических оценок в портфолио, дистанционного обучения, осуществления электронного и проектного обучения. Сущностью ИОМ является осознанный и ответственный выбор субъектом целевой ориентации реализации своего профессионально-образовательного потенциала в соответствии со сложившимися ценностно-смысловыми ориентациями, установками и смыслами жизнедеятельности.



Рис. 1. Формы непрерывного профессионального образования

Структура, проектирование и условия реализации индивидуального образовательного маршрута включает такие компоненты, как [2]:

- целевой (постановка целей получения образования, формулирующихся на основе государственного образовательного стандарта, мотивов и потребностей обучающегося при получении высшего образования);
- содержательный (обоснование структуры и отбор содержания учебных предметов, их систематизация и группировка, установление межцикловых, межпредметных и внутрипредметных связей);
- технологический (определение используемых педагогических технологий, методов, методик, систем обучения и воспитания);
- диагностический (определение системы диагностического сопровождения);
- организационно-педагогический (условия и пути достижения педагогических целей);
- результативный (формулируются ожидаемые результаты).

На основе анкетирования 175 студентов технических специальностей Белорусского государственного университета и Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники было установлено, что эффективное проектирование ИОМ будущих IT-специалистов может быть успешно осуществлено на основе компетентностного подхода. При этом основные профессиональ-

ные компетенции будущих IT-специалистов могут быть подвергнуты декомпозиции на две группы:

1) профессионально-психологические компетенции:

1. аутопсихологическая;
2. коммуникативная;
3. концептуальная;
4. методическая;
5. профессиональная;
6. психологическая;
7. перцептивная;
8. рефлексивная;
9. социальная;
10. социально-педагогическая;
11. социально-психологическая;
12. социально-перцептивная;
13. социокультурная;

2) инструментально-профессиональные компетенции:

- базовые навыки работы с пакетом офисных приложений для различных версий Windows и других операционных систем;

1. навыки программирования и использованием языков высокого уровня (C++, C#, Java, JavaScript, Python, PHP, Ruby, Perl, Паскаль, Delphi и др.);

2. навыки работы с операционными системами;

- навыки работы с базами данных;

- навыки работы с профессионально ориентированными программными продуктами;

- навыки по обработке динамического контента, включая конвертирование медиафайлов из одного формата в другой, оцифровку медиаконтента, монтаж и запись медиаконтента с заданными характеристиками на различные цифровые носители;

- владение умениями и навыками структурировать, обрабатывать значительные по объему информационные потоки в бумажном и электронном формате;

- организация быстрого поиска среди массивов и баз электронных документов на рабочем месте;

- владение умениями и навыками трансформации больших объемов данных и информационных массивов в формы, удобные для визуальной обработки;

- навыки системного анализа и исследования слабоструктурированных информационных ресурсов;

- нормативно-правовые знания в IT-сфере;

- психологическая культура профессиональной деятельности.

- владение современными компьютеризированными и сетевыми математическими и статистическими методами и моделями анализа и изучения информационных ресурсов и потоков;

- владение умениями и навыками системотехнического и инженерно-психологического проектирования;

- владение умениями и навыками социотехнического анализа и проектирования ситуационных проблем профессиональной деятельности.

Кроме того, каждая из представленных компетенций может быть рассмотрена в качестве измерения вектора в n -мерном Евклидовом факторном пространстве признаков, характеризующих ИОМ. Такое факторное пространство обладает некоторой собственной степенью энтропии (H), которая зависит от количества факторов (т.е. n -мерности пространства), степени согласованности и корреляции между ними, отклонения каждого из факторов от максимально возможного значения. Очевидно, что при изменении величины энтропии (H) от нуля до максимального значения (H_{max}) величина степени неоднородности H_{max} изменяется от единицы, которой соответствует полная упорядоченность совокупного пространства признаков, до нуля, при котором распределение значений признаков является равновероятным (хаотичным) [3, 4].

ИОМ может быть рассмотрен как вектор направленного формирования профессиональной компетентности будущего IT-специалиста в многомерном Евклидовом пространстве отдельных компетенций. В этом случае оптимизаций ИОМ может быть осуществлена с помощью следующей модели:

$$P_{ИОМ\text{ опт}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ИОМ_{\text{проект}(i)} * ИОМ_{\text{факт}(i)} \right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ИОМ_{\text{проект}(i)} \right]^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ИОМ_{\text{факт}(i)} \right]^2}}, \quad (1)$$

где $P_{ИОМ\text{ опт}}$ – вероятность формирования оптимального ИОМ, максимально близкого к проектируемому;

$ИОМ_{\text{проект}}$ – проектируемый маршрут,

$ИОМ_{\text{факт}}$ – маршрут, фактически реализуемый.

На проектирование ИОМ оказывают влияние внешние и внутренние факторы. Внешними факторами являются: миссия образовательной организации, ее институциональная структура, социально-экономические потребности региона, квалификация педагогических работников. К внутренним факторам относятся целевые ориентации обучающихся, мотивы повышения образовательного уровня, познавательная активность, потребность в саморазвитии, самоотношение и направленность на будущее, причем не только на перспективу, но и на транспективу.

Основными условиями осуществления образовательной деятельности с помощью ИОМ являются:

1. открытость обязательных результатов обучения;
2. возможность выбора обучающимися уровня сложности;
3. целесообразность сочетания различных форм организации учебной деятельности;
4. организация дифференцированной помощи со стороны преподавателя;
5. обучение должно стать преимущественно активной самостоятельной деятельностью обучающихся;
6. создание психологического комфорта обучающегося, учет его индивидуальных особенностей.

Критерии информационно-энтропийного анализа для прогнозирования индивидуального образовательного маршрута будущего специалиста. Динамика ИОМ может быть охарактеризована на основе комплекса информационно-энтропийных критериев [5].

1. *Критерий энтропии (H)*. У.Эшби впервые предложил использовать понятие «энтропии» для характеристики меры сложности системы, сложность которой можно охарактеризовать ее разнообразием, т.е. количеством состояний, которое может принимать ИОМ в условиях своего развития. При оценке энтропии учитывается как абсолютное количество таких состояний, так и вероятность, с которой ИОМ принимает различные состояния. Тогда энтропию ИОМ можно оценить с помощью выражения:

$$H = - \sum_{i=1}^n (P_i * \log_2 P_i), \quad (2)$$

где P_i – вероятность (или частота) того, что ИОМ принимает i -е состояние из n возможных. Как легко убедиться, максимума эта величина достигает в том случае, когда вероятности принятия ИОМ любого из n возможных состояний равны. В этом случае максимальное значение энтропии для ИОМ будет равно:

$$H_{\max} = \log_2 P_i, \quad (3)$$

Причем величина H достигает максимума при равновероятном однородном заполнении рассматриваемого факторного пространства, т.е. при условии, что:

$$P_i = \frac{1}{r}, \quad (4)$$

где r – число «ячеек»-подпространств факторного пространства ИОМ, т.е. числа возможных сочетаний логических градаций набора социальных, педагогических, психологических и иных признаков ИОМ. Количество возможных сочетаний признаков из N -мерных логических факторных пространств, каждое из которых может включать N признаков из M -множества, можно оценить как:

$$C_M^N = \frac{M!}{N!(M-N)!} \quad (5).$$

Целесообразно ввести некоторую функцию энтропии, которая не зависела бы от числа логических «ячеек»-подпространств факторов ИОМ, а определялась бы только неоднородностью заполнения пространства элементами статистики на основе данных педагогических наблюдений и экспериментов. Максимальное значение энтропии для n -мерного логического пространства, то есть для совокупности n признаков, каждый из которого имеет S_i градаций ($i = 1, 2, \dots, n$), будет

$$H_{\max} = \log_2 \prod_{i=1}^n S_i \quad (6).$$

Выражение для оценки максимального значения H_{\max} для n -мерного логического пространства факторов ИОМ с некоторой реальной энтропией H_N , т.е. для совокупности N признаков, каждый из которого имеет S_i градаций ($i = 1, 2, \dots, n$), будет иметь вид:

$$H_N = \frac{H_{\max} - H}{H_{\max}} = \frac{\log_2 \prod_{i=1}^n S_i + \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i}{\log_2 \prod_{i=1}^n S_i} \quad (7).$$

Энтропия, будучи мерой разнообразия и организованности ИОМ системы факторов степень неопределенности или детерминированности маршрута. ИОМ тем более детерминирован, чем меньшими значениями энтропии он характеризуется (т.е. чем ближе $H \rightarrow 0$).

2. Относительная организованность ИОМ как системы факторов:

$$R = 1 - \frac{H}{H_{\max i}} \quad (8)$$

При этом согласно классификации С.Бира:

- 1) система является вероятностной (стохастической), если $R \leq 0,1$;
- 2) система является детерминированной, если $R > 0,3$;
- 3) система является квазидетерминированной (вероятностно-детерминированной), если $0,1 < R \leq 0,3$.

3. **Критерий анэнтропии (A)** удовлетворяет функции, которая может служить мерой редкости частот отклонений ИОМ_{факт} от ИОМ_{проект}. Величина анэнтропии тем выше, чем меньше частота встречаемости отклонений ИОМ_{факт} от ИОМ_{проект}:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n \log_2 P_i}{n} - H_{\max}. \quad (9)$$

4. Вероятность состояния (W) определяется как отношение числа различных возможных благоприятных отклонений ИОМ (K) от проектируемых параметров к полному числу всех возможных отклонений (L):

$$W = \frac{K}{L}. \quad (10)$$

5. Абсолютная энтропия (H_a). Если объем факторного пространства ИОМ характеризуется числом факторов M из диапазона N, а m_i – это число заполнения i-го уровня логической «ячейки»-подпространства вектора (т.е. P(X_i)=m_i/M), тогда

$$K = \frac{M!}{\prod_{i=1}^n m_i!}. \quad (11)$$

При этом абсолютная энтропия ИОМ может быть выражена как:

$$H_a = \ln K = M \ln M - \sum_{i=1}^N m_i \ln m_i = -M \sum_{i=1}^N P(X_i) \ln P(X_i), \quad (11)$$

где X_i – некоторое отклонение от проекта ИОМ, характеризующееся набором изменением факторов из диапазона N.

6. **Сложность.** ИОМ обладает набором первичных статических характеристик, включая объем, или количество составляющих ее элементов (N) и сложность (C) как сумму связей между элементами маршрута. Энтропия системы (H) в зависимости от числа факторов ИОМ и числа значимых связей между ними рассчитывается как:

$$H = 1 - \frac{2C}{n(n-1)}. \quad (12)$$

В таком случае при больших объемах факторного пространства (когда N→∞) энтропия ИОМ (H) изменяется пропорционально квадрату числа составляющих ее элементов и обратно пропорционально удвоенной величине ее сложности. Причем, показано, что при интенсивном развитии ИОМ, характеризующемся ростом числа факторов и сложности, проявляющейся в увеличении числа связей между компонентами, энтропия ИОМ уменьшается.

Таблица 1 – Информационно-энтропийные критерии прогнозирования основных вариантов развития индивидуального образовательного маршрута

№ п/п	Информационно-энтропийные критерии	Экстенсивное развитие	Интенсивное развитие	Стагнация	Деградация
1	Динамика факторного пространства	$\frac{dN}{dt} > 0$	$\frac{dN}{dt} > 0$	$\frac{dN}{dt} > 0$	$\frac{dN}{dt} < 0$
2	Сложность	$\frac{dC}{dt} > 0$	$\frac{dC}{dt} > 0$	$\frac{dC}{dt} \leq 0$	$\frac{dC}{dt} < 0$
3	Энтропия	$\frac{dH}{dt} > 0$	$\frac{dH}{dt} < 0$	$\frac{dH}{dt} > 0$	$\frac{dH}{dt} > 0$

Метод ИЭА позволяет конструктивно объяснить важнейшие формы развития и реализации ИОМ, включая экстенсивное и интенсивное развитие, а также стагнацию и деградацию [6]. В таблице 1 представлены четыре варианта развития ИОМ, прогнозирование которых может быть осуществлено на основе критериев ИЭА.

Информационно-энтропийный анализ обучения на основе проблемных ситуаций профессиональной деятельности. Одним из эффективных направлений повышения качества образования студентов ИТ-специальностей является разработка и внедрение в учебный процесс дидактических технологий на основе моделирования проблемных ситуаций в профессиональной деятельности (ПСПД). Эффективность таких дидактических технологий может быть оценена с помощью набора информационно-энтропийных характеристик [7, 8].

Методологически обучение студентов на основе моделирования ПСПД может быть реализовано с использованием положений теории информации К.Шеннона, теоремы Байеса и Байесовских сетей доверия, а также впервые предложенной таксономии уровней когнитивного освоения ПСПД, которые сходны с таксономией целей обучения по Б.Блуму. Таксономия уровней когнитивного освоения ПСПД включает семь уровней восприятия и переработки информации о состоянии ПСПД, в т.ч.:

- 1) распознавание ситуации;
- 2) понимание ее причин и содержания;
- 3) характеристика возможных областей применения;
- 4) структурно-функциональная дезагрегация ситуации;
- 5) агрегация новых вариантов структурно-функциональной композиции ситуации;
- 6) критическая оценка результатов дезагрегации-агрегации ситуации;
- 7) прогнозирование вариантов развития ПСПД по трем сценариям (пессимистическому, оптимистическому и сбалансированному). На каждом из этих уровней

освоения ПСПД формируются соответствующие профессиональные компетенции будущих специалистов.

Эффективность обучения на основе моделирования ПСПД зависит от интенсивности переработки субъектом объемов (потоков) информации о состоянии ПСПД (V_i) на i -м уровне когнитивного освоения ПСПД и продолжительности (T_j) j -го периода переработки информации и принятия решения по управлению ПСПД. При этом вероятность эффективного когнитивного освоения ПСПД может быть охарактеризована моделью:

$$P = P\left(\frac{V_i}{T_j}\right) \left(1 - \prod_{i=1}^N \left(1 - P\left(\frac{V_i}{T_j}\right)\right)\right), \quad (13).$$

Поскольку величины V_i и T_j взаимосвязаны, то характеристики одной из них снижают неопределенность другой под влиянием условной энтропии V_i (при условии знаний представления T_j). Неопределенность решения ПСПД, может быть задана моделью условной энтропии, предложенной на основе теоремы Байеса и теории информации К.Шеннона:

$$H\left(\frac{V_i}{T_j}\right) = \sum_{i=1}^K P(T_j) \sum_{j=1}^N P\left(\frac{V_i}{T_j}\right) \log_2 P\left(\frac{V_i}{T_j}\right) \quad (14),$$

где K – число периодов обработки информации на каждом из семи этапов когнитивного освоения ПСПД; N – число вопросов, на которые были получены ответы в пределах одного когнитивного уровня.

Для оценки эффективности обучения на основе моделирования ПСПД и, возможно, для дальнейшего профотбора целесообразно использовать индивидуальные коэффициенты информационно-энтропийного баланса (КИЭБ) при решении ПСПД:

$$K_{КИЭБ} = \left[\frac{1 - H\left(\frac{V_i}{T_j}\right)}{H\left(\frac{V_i}{T_j}\right)} \right] \quad (15).$$

Предложенные информационно-энтропийные характеристики, описываемые уравнениями (1)–(3), могут быть основой для разработки метода поиска решения проблемных ситуаций с помощью Байесовского подхода и Байесовских сетей доверия.

Управление будущим ИТ-специалистом проектированием и реализацией собственным ИОМ обеспечивает:

- ориентацию процесса получения высшего образования на развитие уже имеющихся профессиональных компетенций;
- широкое использование в образовательной практике ситуационного моделирования, деловых игр и других приемов, предполагающих ролевое вовлечение будущих специалистов в учебный процесс и, тем самым, вырабатывающих у него на-

выки самостоятельного исполнения должностных обязанностей и/или принятия обоснованных решений;

- комплексное развитие профессиональных навыков каждого обучаемого в группе;

- возможность индивидуализации образовательного процесса с учетом исходного уровня образовательной и профессиональной компетентности каждого ИТ-специалиста.

Заключение. Использование выше перечисленных критериев и подходов ИЭА для прогнозирования и управления формированием ИОМ будущего ИТ-специалиста на основе комплекса профессиональных компетенций может позволить:

- наиболее эффективно использовать индивидуальный подход при работе с ИТ-специалистами;

- рационально планировать численность ИТ-персонала;

- выявлять управленческий потенциал ИТ-специалистов;

- формировать кадровый резерв как на позиции ИТ-специалистов, так и на позиции управленцев;

- разрабатывать и реализовывать индивидуальные программы обучения, повышения квалификации и развития для сотрудников;

- разрабатывать индивидуальные планы развития ИТ-компаний;

- прогнозировать профессиональную надежность и эффективность деятельности ИТ-персонала при изменении функциональных обязанностей в условиях нестабильного бизнес-климата.

Литература

1. Кунаш М. А. Индивидуальный образовательный маршрут школьника. Методический конструктор. Модели. Анализ. – Волгоград: Учитель, 2013. – 170 с.
2. Лабунская Н. А. Педагогическое исследование современного студента: Студент при получении образования. – СПб.: Рос. гос. пед. ун-т им. А. И. Герцена, 1999. – 75 с.
3. Шкаратан О.И., Ястребов Г.А. Энтропийный анализ как метод безгипотезного поиска реальных (гомогенных) социальных групп // Методы социологических исследований. 2009. С. 52–65.
4. Егорова Л.Е. Энтропийный анализ системообразующих факторов предметной подготовки будущих учителей информатики // Фундаментальные исследования. 2013. № 8 (часть 1). С. 168-172.
5. Мартин Н. Ингленд Дж. Математическая теория энтропий. – М.: Мир, 1988. – 251с.
6. Рыжов Б.Н. Системная психология (методология и методы психологического исследования). – М.: Изд-во МГПУ, 1999. 278 с.
7. Климов Е.А. Конфликтующие реальности в работе с людьми (психологический аспект): учеб. пособие. – М.: Московский психолого-социальный ин-т; Воронеж: МОДЭК, 2001. 192 с.
8. Климов Е.А. Путь в профессионализм (Психологический анализ): учеб. пособие. – М.: Московский психолого-социальный институт; Флинта, 2003. – 320 с.