

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.45



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-4-33-39

Обзорная статья/ Review article

**Анализ существующих математических моделей оценивания компетенций студентов
высшего образования**

Ю.А. Бычковская¹, В.С. Бычковский²

¹Байкальский государственный университет,

¹664025, г. Иркутск, ул. Ленина 11, Россия,

²Иркутский государственный транспортный университет,

²664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15, Россия

Резюме. Цель. Цель работы состоит в определении основных особенностей существующих математических моделей для выполнения компетентностного подхода оценивания. Необходимо выявить, какие именно параметры целесообразно использовать в математической модели, методику их определения, а также на каком этапе формируется итоговая оценка компетенций. **Метод.** Исследование основано на проведении теоретико-информационного анализа существующих математических моделей оценивания компетенций. **Результат.** Разработка математической модели оценки компетенций требует учета различных факторов, включая трудоемкость учебной дисциплины, посещаемость занятий, участие в олимпиадах, конференциях и т.д. Установлено, что оценка компетенции не всегда зависит только от одной области знаний, а является междисциплинарной и включает не только знания, умения и навыки, но также учитывает влияние социальной, информационной и интеллектуальной среды. Исследование показало перспективность применения теории латентных переменных. **Вывод.** Проведенный научный обзор позволяет разработать новую математическую модель для компетентностного подхода освоения учебной программы, которая будет учитывать параметры, не рассмотренные в других математических моделях, а также использование теории латентных переменных. Для модернизации компетентностного подхода необходим сбор информации из соответствующей базы данных о внеучебной деятельности обучающегося, которая оказывает влияние на итоговый результат оценивания. Итогом оценивания компетенций будет карта компетенций, формируемая в течение семестра или курса.

Ключевые слова: компетентностный подход, математическая модель оценивания, карта компетенций, теория латентных переменных, обучение, автоматизированная система оценивания

Для цитирования: Ю.А. Бычковская, В.С. Бычковский. Анализ существующих математических моделей оценивания компетенций студентов высшего образования. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(4):33-39. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-33-39.

**Analysis of existing mathematical models for assessing the competencies of higher
education students**

J.A. Bychkovskaya¹, V.S. Bychkovsky²

¹ Baikal State University,

¹11 Lenin St., Irkutsk 664025, Russia,

²Irkutsk State Transport University,

²664074, Irkutsk, St. Chernishevskiy 15, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the work is to determine the features of mathematical models for implementing the competence-based assessment approach. It is necessary to iden-

tify which parameters are appropriate to use in the mathematical model, the methodology for their determination, and at what stage the final assessment of competencies is formed. **Method.** The study is based on the theoretical and information analysis of mathematical models for assessing competencies. **Result.** The development of a mathematical model for assessing competencies requires taking into account factors, including the labor intensity of the academic discipline, class attendance, participation in Olympiads, conferences, etc. It has been established that competence assessment does not always depend on only one area of knowledge, but is interdisciplinary and includes not only knowledge, abilities and skills, but takes into account the influence of the social, information and intellectual environment. The study showed the prospects of applying the theory of latent variables. **Conclusion.** The scientific review allows developing a new mathematical model for the competence-based approach to mastering the curriculum. To modernize the competence-based approach, it is necessary to collect information on the extracurricular activities of the student. The result of the competency assessment will be a competency map, formed during the semester or course.

Keywords: competence approach, mathematical model of assessment, competence map, item response theory, education, automated assessment system

For citation: J.A. Bychkovskaya, V.S. Bychkovsky. Analysis of existing mathematical models for assessing the competencies of higher education students. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(4):33-39 DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-33-39

Введение. Для повышения эффективности обучения студентов в вузах разрабатываются различные подходы для оценивания их уровня усвоения учебной программы. Наиболее известными подходами определения компетенции обучающегося по дисциплине или курсу являются квалификационный и компетентностный. На данный момент компетентностный подход является более совершенным по сравнению с другим, так как учитывает не только знания, умения и навыки, а также психологические, социальные и др. особенности личности [1].

В современном мире для осуществления компетентностного оценивания разрабатывается программное обеспечение, которое позволяет хранить и обрабатывать различные данные, касающиеся успеваемости каждого обучающегося в течение учебного процесса. По окончании учебного процесса программное обеспечение позволяет определить итоговый результат успеваемости и произвести оценку компетенции обучающегося. Также преимуществом программного обеспечения является интуитивно понятный интерфейс, который не требует профильных знаний от пользователя.

Основой программного обеспечения является алгоритм, который включает в себя математическую модель, которая учитывает различные параметры (например, текущая оценка по предмету, посещаемость и т.д.). С помощью математической модели возможно выполнить расчет оценки компетенции в области освоенной учебной программы обучающимся [1].

Постановка задачи. Для совершенствования компетентностного подхода необходимо определить, на чем будет основываться его математическая модель. Исходя из этого возникает цель - выполнить научный обзор и провести анализ существующих математических моделей оценивания компетенций.

Достижение цели позволит выявить какие именно параметры необходимо использовать в математической модели и как именно их определять, а также на каком этапе формируется итоговая оценка компетенций. Для достижения поставленной цели были рассмотрены математические модели различных авторов для оценивания компетенций обучающихся.

Методы исследования. Анализ математических моделей для оценивания компетенций. Рассмотрена работа авторов Макушкина Л.А и Фадеева М.В. «Разработка систе-

мы мониторинга учебной деятельности на базе компетентного подхода» из Уральского государственного университета. Авторы предложили математическую модель преобразования баллов, полученных студентами при выполнении заданий, в оценку их уровня усвоения компетенций [2, 3]. А также представили описание разработанной системы мониторинга учебной деятельности на основе компетентного подхода и результаты оценки эффективности данной системы [4, 5].

Математическая модель для определения уровня усвоения компетенций в процессе изучения дисциплины представлена следующим образом [2]

$$K_p rez = \frac{K_i sem \cdot 100}{K_i ball}, \quad (1)$$

где $K_i rez$ – результат освоения компетенции, %; $K_i sem$ – количество баллов по определенной компетенции; $K_i ball$ – избыточные баллы.

Недостатком данной математической модели является определение уровня усвоения компетенции в пределах одной дисциплины, так как одна и та же компетенция может являться результатом освоения двух и более дисциплин. Также отсутствует учет такого фактора, как трудоемкость дисциплин (в часах).

Братищенко В.В. в работе «Модель с латентными параметрами для оценки компетенций» предложил оценку компетенций в которой учитывается текущая успеваемость студентов. Предлагается декомпозировать каждое задание на отдельные компоненты и связать каждый из них с определенной компетенцией. Были разработаны структуры данных для системы учета текущей успеваемости, а также ее архитектура [6, 7]. Для записи оценок было создано мобильное приложение. Предлагается использовать теорию латентных переменных (Item Response Theory) в процессе оценки компетенций [8].

Другими авторами для оценки компетенций студентов технических вузов Берестневой О.Г., Марухиной О.В., Абунаваз Х.А. в работе «Алгоритмическое и программное обеспечение информационной системы оценки компетентности студентов технического вуза» представлен алгоритм оценки уровня компетенции студентов, основанный на методе нечеткого оценивания, который позволяет учитывать неполноту и качество информации, а также влияние человеческого фактора [9]. Данный алгоритм позволил разработать программный продукт для решения задач оценки компетенции студентов. Основное внимание уделено разработке алгоритмов оценки компонентов компетенции на основе экспертной оценки и тестовых технологий [10]. Математическая модель, используемая для вычисления суммарной оценки компетенций, выглядит следующим образом [9]

$$\mu_{\Sigma} = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_{1ij} / I_1, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_{2ij} / I_2, \dots, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_{kij} / I_k \right\}, \quad (2)$$

где μ_{Σ} – суммарная оценка компетенций; O_{ij} , – степень соответствия I-ой компоненты компетентности оценочной категории ij.

Программный продукт также включает в себя разработанную математическую модель, которая способна оценить полный этап обучения от абитуриента до выпускника, также выявлена общая взаимосвязь социальной, информационно-технологической, интеллектуальной и ценностно-смысловой среды на формирование компетенции студентов [11].

Проведенный анализ работы авторов выявил, что оценивание компетенций определяется только по результатам тестов, как педагогических, так и психологических, не учитывая другие важные факторы, такие как текущая успеваемость, посещаемость и т.д., что не дает полной картины уровня формирования компетенций.

В отличие от ранее рассмотренной работы, где производилось оценивание полного этапа обучения от абитуриента до выпускника, авторами Борзых В.Э., Шалкиной Т.Н., Николаевой Д.Р. установлен приоритет на оценивание выпускников вузов. В своей работе «Метод математического моделирования процесса оценивания профессиональных компетенций выпускников вуза» они описывают подход к разработке математической модели

для оценки профессиональных навыков студентов вуза в процессе их обучения [12, 13]. Авторы объясняют важность и значение оценки сформированности профессиональных компетенций выпускников вуза; определяют критерии, уровни сформированности этих компетенций и представляют модель для оценки профессиональных навыков студентов. Основываясь на данной модели, авторы разработали систему для измерения профессиональных компетенций студентов [14, 15].

Авторы выделяют этапы моделирования процесса создания математической модели измерения и представляют основные алгоритмы для оценки профессиональных навыков. В статье предлагается новый оригинальный подход к разработке модели для оценки профессиональных компетенций, основанный на теории.

Также представлены результаты экспериментального исследования, где определена самая значимая статистически модель для оценки профессиональных навыков с применением множественного корреляционно-регрессионного анализа.

Математическая модель, разработанная авторами, выглядит следующим образом [12]

$$w^{[K]} = \frac{\Phi \cdot \theta^2}{\sigma}, \quad (3)$$

где w – оценка профессиональной компетенции; K – количество профессиональных компетенций; Φ – покомпонентная оценка учебных достижений студента; σ – оценка личностных характеристик студента; θ – оценка профессиональной мотивации студента.

Несомненными преимуществами данной математической модели являются: учет личностных характеристик студента и мотивации к изучению дисциплин, характеризующихся определенными компетенциями, а также учет результатов внеучебной деятельности студента (участие в олимпиадах, обучение по программе дополнительной профессиональной подготовки).

В области автоматизации систем оценивания компетенций студентов авторами В.В. Мирошниковым, А.В. Морозовой, Г.В. Ефимовой, Е.А. Митрошенковой выполнена работа «Автоматизированная система мониторинга уровня освоения компетенций студентами в процессе получения профессионального образования» представили новую автоматизированную систему отслеживания уровня освоения студентами компетенций с подробным описанием структуры программного обеспечения, базы данных и процесса формирования карты компетенций [16-18].

В разработке использовались современные методы проектирования и моделирования информационных систем. Разработанная авторами математическая модель для вычисления уровня развития компетенции выглядит следующим образом [16]

$$K_{\text{код комп.}} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i T_i x_i}{\sum_{i=1}^N T_i}, \quad (4)$$

где T_i – трудоемкость изучения i -й дисциплины из рабочего учебного плана направления подготовки; n – число дисциплин, которые формируют данную компетенцию; $N = 1, 2, \dots, N$ – число изученных студентом дисциплин из предметного поля компетенции на данный момент времени; O_i – оценка уровня развития компетенции, освоенной студентом после изучения i -й дисциплины; x_i – доля i -й дисциплины в формировании компетенции j (вычисляется методом анализа иерархий).

Рассмотренная автоматизированная система обладает такими преимуществами: она способна создавать карту компетенций, учитывая трудоемкость различных видов деятельности и количество предметов, включающих определенную компетенцию. Однако в данной системе не учитывается ряд факторов, оказывающих влияние на эффективность формирования компетенций, таких как посещаемость, внеучебные мероприятия (соревнования, конференции, олимпиады), факультативные занятия и обучение дополнительным профессиям [19, 20].

Обсуждение результатов. Проведенный анализ позволил сформулировать вывод о том, что для модернизации компетентностного подхода, а конкретно, для разработки математической модели оценивания компетенций, необходимо учитывать такие факторы как трудоемкость дисциплины, посещаемость студентами учебных занятий, участие во внеучебных мероприятиях, включающих в себя соревнования, олимпиады, конференции, обучение по программе дополнительной профессиональной подготовки.

Также необходимо учитывать, что оценка компетенции не всегда формируется только из одной дисциплины, а является междисциплинарной и включает в себя не только знания, умения и навыки, а также влияние социальной, информационно-технологической, интеллектуальной и ценностно-смысловой среды. Перспективно использовать теорию латентных переменных, позволяющую оценить латентные параметры, такие как уровень подготовленности студента и сложность предмета.

Вывод. В работе рассмотрены наиболее распространенные математические модели для оценивания компетенций освоение учебной программы обучающихся вузов, а также представлены предложения по модернизации компетентностного подхода оценивания обучающихся высшего образования, построенные на основе исправления выявленных недостатков и использования преимуществ существующих математических моделей.

Достоинством разработанного компетентностного подхода будет являться учет оценки компетенций не для отдельной дисциплины, а для целого комплекса дисциплин учебной программы (комплексная оценка компетенции).

Проведенный анализ существующих математических моделей оценивания компетенций позволил выявить необходимость учета таких параметров: посещаемость обучающихся, трудоемкость дисциплин, участие в мероприятиях внеучебной программы. Выявлено, что указанные параметры, необходимо определять из данных, взятых из советующих источников информации.

Параметры, влияющие на компетенцию оценивания, необходимо выявлять на определенном этапе обучения (например: в конце каждого семестра, на этапе становления студента выпускником) путем составления карты компетенций.

Математическая модель оценивания компетенций может быть внедрена в Байкальском государственном университете для повышения эффективности обучения по учебной программе.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку алгоритма функционирования автоматизированной системы оценки компетенций, а также использование данного алгоритма и математической модели для разработки программного обеспечения для оценки компетенций обучающихся.

Библиографический список:

1. Бычкова Ю.А. Современное состояние проблемы обеспечения оценки компетенций студентов высшего образования // Системный анализ в науке и образовании.-2023.-№ 4.-С.142-147.
2. Макушкина Л.А., Фадеева М.В. Разработка системы мониторинга учебной деятельности на базе компетентностного подхода // Открытое образование.-2017.-№ 3.-С.29-38.
3. Михайленко Т.С. Компетентностный подход в оценивании качества результатов обучения студентов // Научно-методический электронный журнал «Концепт». -2014.-№ 22.-С.51-55.
4. Зимняя И.А. Компетентность и компетентность в контексте компетентностного подхода в образовании // Иностранные языки в школе.-2012.-№ 6.-С.2-10.
5. Рыбанов А.А., Макушкина Л.А. Технология определения весовых коэффициентов сложности тем дистанционного курса на основе алгоритма Саати // Открытое и дистанционное образование.-2016.-№ 1.-С.69-79.
6. Братищенко В.В. Модель с латентными параметрами для оценки компетенций // Новые информационные технологии в образовании и науке. Российский государственный профессионально-педагогический университет.-2017.-№ 2.-С.46-51.

7. Братищенко В.В. Кешиков К.А. Оценка компетенций студентов вуза по данным учета текущей успеваемости // *Современные проблемы профессионального образования: опыт и пути решения.*-2016.-№ 1.-С.163-167.
8. Братищенко В. В. Оценка сформированности компетенций по данным текущей успеваемости // *Актуальные вопросы аграрной науки.*-2018.-№ 28.-С.31-37. <https://elar.rsvpu.ru/handle/123456789/28293>
9. Берестнева О.Г., Марухина О.Г., Абунаваз Х.А. Алгоритмическое и программное обеспечение информационной системы оценки компетентности студентов технического вуза // *Известия Томского политехнического университета.*-2006.-№ 7.-С.240-245.
10. Берестнева О.Г., Шаропин К.А., Марухина О.В. Экспертная система оценки компетентности выпускников технического университета // *Искусственный интеллект.*-2004.-№ 4.-С.264–267.
11. Берестнева О.Г., Иванов В.Т., Иванкина Л.И., Шаропин К.А. Комплекс психофизиологического обследования студентов. Назначение, структура, результаты // *Известия Томского политехнического университета.*-2003.-№ 306(2).-С.57–63.
12. Борзых В.Э., Шалкина Т.Н., Николаева Д.Р. Метод математического моделирования процесса оценивания профессиональных компетенций выпускников ВУЗа // *Проблемы науки и образования.*-2015.-№ 1(1).-С.106-120.
13. Аскеров Э.М., Рудинский И.Д. Автоматизация многокритериального оценивания профессиональных компетенций будущих специалистов//*Информатизация образования и науки.*-2008.-№ 3(7).-С.82-89.
14. Попов Г.В., Забегалина Т.В. Оценка профессиональных компетенций // *Методы менеджмента и качества.*-2007.-№ 6.-С.40-43.
15. Скорев, М.М., Олейникова Н.С. Квалификационная яма: теоретический и методический подходы // *Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление.*-2020.-№ 2(111).-С.23-25.
16. Мирошников В.В., Митрошенкова Е. А. Автоматизированная система оценки и мониторинга уровня освоения компетенций студентами: организационно-методическое обеспечение // *Вестник Брянского государственного технического университета.*-2019.-№ 1(74).-С.77-84.
17. Мирошников В.В., Митрошенкова Е.А. Система мониторинга качества обучения студентов при компетентностном подходе // *Вестник Брянского государственного технического университета.*-2015.-№ 2.-С.152-160.
18. Родионов А.В. Использование методов когнитивного моделирования для построения компетентностно-ориентированного образовательного процесса // *Теоретические и прикладные аспекты современной науки.*-2015.-№ 7(1).-С.19-24.
19. Тигина М.А. Алгоритм оценки уровня сформированности компетенций // *Вестник МГУП имени Ивана Федорова.*-2014.-№ 3.-С. 248-252.
20. Литвинов В. А. К вопросу об оценке сформированности компетенций обучающихся при проведении промежуточных и итоговой аттестации // *Современное образование.*-2019.-№ 1.-С.85–91.

References:

1. Bychkovskaya Y.A. The current state of the problem of ensuring the assessment of competencies of students of higher education. *System analysis in science and education.*2023;4:142-147. (In Russ)
2. Makushkina L.A., Fadeeva M.V. Development of a system for monitoring educational activities based on a competence-based approach. *Open education.*2017;3:29-38. (In Russ)
3. Mikhailenko T.S. A competence-based approach to assessing the quality of student learning outcomes. *Scientific and methodological electronic journal "Concept".* 2014; 22:51-55. (In Russ)
4. Zimnaya I.A. Competence and competence in the context of a competence-based approach in education. *Foreign languages at school.*2012.6:2-10. (In Russ)
5. Rybanov A.A., Makushkina L.A. Technology for determining the weighting coefficients of the complexity of distance learning topics based on the Saati algorithm. *Open and distance education.*2016.1:69-79. (In Russ)
6. Bratishchenko V.V. A model with latent parameters for assessing competencies. *New information technologies in education and science. Russian State Vocational Pedagogical University.*2017;2:46-51(In Russ)
7. Bratischenko V.V. Keshikov K.A. Assessment of university students' competencies based on current academic performance data. *Modern problems of vocational education: experience and solutions.*2016;1:163-167(In Russ)
8. Bratischenko V.V. Assessment of the formation of competencies according to current academic performance. *Actual issues of agrarian science.*2018;28:31-37(In Russ)
9. Berestneva O.G., Marukhina O.G., Abunavas H.A. Algorithmic and software support of the information system for assessing the competence of students of a technical university. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University.*2006;7:240-245 (In Russ)

10. Berestneva O.G., Sharopin K.A., Marukhina O.V. Expert system for assessing the competence of graduates of a technical university. *Artificial intelligence*.2004;4:264-267. (In Russ)
11. Berestneva O.G., Ivanov V.T., Ivankina L.I., Sharopin K.A. Complex of psychophysiological examination of students. Purpose, structure, results. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University*.2003;306(2):57-63. (In Russ)
12. Borzykh V.E., Shalkina T.N., Nikolaeva D.R. Method of mathematical modeling of the process of evaluating professional competencies of university graduates. *Problems of science and education*.2015;1(1):106-120. (In Russ)
13. Askerov E.M., Rudinsky I.D. Automation of multi-criteria assessment of professional competencies of future specialists. *Informatization of education and science*.2008;3(7):82-89. (In Russ)
14. Popov G.V., Zabegalina T.V. Assessment of professional competencies. *Methods of management and quality*.2007;6:40-43. (In Russ)
15. Skorev, M.M., Oleinikova N.S. Qualification pit: theoretical and methodological approaches. *Science and education: economy and economics; entrepreneurship; law and management*.2020;2(111):23-25. (In Russ)
16. Miroshnikov V.V., Mitroschenkova E. A. Automated system for assessing and monitoring the level of competence development by students: organizational and methodological support. *Bulletin of the Bryansk State Technical University*.2019;1(74):77-84. (In Russ)
17. Miroshnikov V.V., Mitroschenkova E. A. The system of monitoring the quality of student education with a competence-based approach. *Bulletin of the Bryansk State Technical University*.2015;2:152-160. (In Russ)
18. Rodionov A.V. Using cognitive modeling methods to build a competence-oriented educational process *Theoretical and applied aspects of modern science*.2015;(1):19-24. (In Russ)
19. Tigina M.A. Algorithm for assessing the level of competence formation. *Bulletin of the Moscow State University Enterprise named after Ivan Fedorov*.2014. 3:248-252. (In Russ)
20. Litvinov V.A. On the issue of assessing the formation of students' competencies during intermediate and final attestation. *Modern education*.2019.1:85-91 (In Russ)

Сведения об авторах:

Бычкова Юлия Александровна, аспирант кафедры математических методов и цифровых технологий; juli.mis@yandex.ru.

Бычковский Владимир Сергеевич, старший преподаватель кафедры автоматизации производственных процессов; bikovskii_vs@mail.ru.

Information about authors:

Julia A. Bychkovskaya, Postgraduate student, Department of Mathematical Methods and Digital Technologies; juli.mis@yandex.ru.

Vladimir S. Bychkovsky, Senior lecturer, Department of Automation of Production Processes; bikovskii_vs@mail.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 07.05.2024.

Одобрена после/рецензирования Revised 19.07.2024.

Принята в печать/ Accepted for publication 29.09.2024.