М. Г. Коляда, Т. И. Бугаева, Е. Г. Ревякина, С. И. Белых

Реализация идей вычислительной педагогики в выборе форм обучения на основе марковской модели иерархий

Статья посвящена проблеме реализации идей вычислительной педагогики для наилучшего выбора формы обучения. Рассмотрены вопросы зарождения нового направления педагогических знаний – «Вычислительной педагогики»; приведены ее отличительные особенности от традиционной педагогики, а также проанализированы сущностные характеристики этой дефиниции. Обосновано, что многие педагогические процессы и явления имеют стохастический характер, поэтому для их анализа и прогнозирования можно использовать закономерности теории вероятностей, в частности расчетную методологию, так называемых цепей Маркова. Их характерная особенность заключается в том, что цепь, соединяющая вероятностные педагогические события, обладает особым свойством: каждое ее звено в некотором роде определяет, каким будет следующее звено, которое, тем не менее, не зависит от предыдущего. Используя это свойство, была построена Марковская модель иерархий для выбора форм обучения: индивидуальная, коллективная и фронтальная. На основе такой модели были выполнены конкретные расчеты выбора наиболее оптимальной формы обучения, с учетом двух составляющих: эффективности этой формы и трудозатрат преподавателя на ее подготовку и реализацию. В исследовании нашли отражение оценки разнообразных аспектов использования идей вычислительной педагогики, в частности, то, что теоретические умозаключения и многие эмпирические педагогические исследования можно точно проверить на достоверность с помощью вычислительных моделей иерархии.

Ключевые слова: вычислительная педагогика, цепи Маркова, формы обучения, модель иерархий, валидность, трудозатраты подготовки занятия, эффективность занятия

Ссылка для цитирования:

Коляда М. Г., Бугаева Т. И., Ревякина Е. Г., Белых С. И. Реализация идей вычислительной педагогики в выборе форм обучения на основе марковской модели иерархий // Перспективы науки и образования. 2019. № 2 (38). С. 413-427. doi: 10.32744/pse.2019.2.31

M. G. KOLIADA, T. I. BUGAYOVA, O. G. REVIAKINA, S. I. BELYKH

Implementation of ideas of computational pedagogy in the selection of forms of education based on the Markovian model of hierarchies

Questions of origin of a new field of pedagogical knowledge, "Computational Pedagogy", are reviewed; its features distinguishing it from traditional pedagogy are given; and essential characteristics of this definition are analyzed. It is substantiated that many pedagogical processes and phenomena are of stochastic nature, thus regularities of probability theory may be used for their analysis and forecasting, particularly the calculation methodology of the so-called Markovian chains. Their characteristic is in the fact that the chain connecting the probabilistic pedagogical events has a special feature: each of its links in some way determines what will be the next link, which, however, does not depend on the previous one. Using this feature, the Markovian model of hierarchies for the selection of forms of education was built: individual, collective, and frontal. Based on this model, specific calculations were made to select the most appropriate form of education, taking into account two components: the effectiveness of this form and the teacher's labor cost for its preparation and implementation. The study reflected the evaluation of various aspects of the use of computational pedagogical ideas, particularly, the fact that theoretical speculations and many empirical pedagogical studies may be accurately validated using computational models of hierarchy.

Keywords: computational pedagogy, Markovian chain, model of hierarchies, labor cost for preparation of classes, efficiency of classes

For Reference:

Koliada, M. G., Bugayova, T. I., Reviakina, O. G., & Belykh, S. I. (2019). Implementation of ideas of computational pedagogy in the selection of forms of education based on the Markovian model of hierarchies. *Perspektivy nauki i obrazovania – Perspectives of Science and Education*, 38 (2), 413-427. doi: 10.32744/pse.2019.2.31

Введение

Словосочетание «Вычислительная педагогика» (Computational Pedagogic) вошло в обращение педагогической общественности сравнительно недавно. В первом десятилетии 21 столетия начали появляться научные статьи [12; 27], в которых исследователи пытались обосновать зарождение нового направления педагогических знаний – компьютерной (вычислительной) педагогики. Хотя сами идеи вычислительных методов в дидактике появились задолго до этого, еще одновременно с возникновением информатики как науки. На первом этапе электронные вычислительные машины (ЭВМ) выступали в качестве помощника педагога для обработки результатов тестирования в рамках, так называемого программированного обучения. Затем сфера применения компьютеров расширилась, и их стали применять уже в роли автоматизированных обучающих систем [2; 3; 5], а также для автоматизации процессов обработки результатов мониторинга образовательной деятельности [19].

Появление вычислительной педагогики в современном ее понимании, было связано с проникновением идей искусственного интеллекта в сферу обучения, воспитания и образования. Одновременно или чуть позже появляется еще одно словосочетание «Цифровая педагогика» (Digital Pedagogic). Это название возникло как дань возникшему сейчас модному названию «Цифровая экономика». Так на Петербургском международном экономическом форуме 2017 г. Владимир Путин актуализировал вопросы цифровой экономики. На пленарном заседании президент выразил уверенность в том, что для того чтобы наращивать кадровые, интеллектуальные, технологические преимущества в сфере цифровой экономики, планируется действовать по всем направлениям, имеющим системное значение, в том числе и в сфере цифровой педагогики. Президент указывал на то, что необходимо сформировать принципиально новую, гибкую нормативную базу для внедрения цифровых технологий во все сферы жизни. А для этого необходимо «кратно увеличить выпуск специалистов в сфере цифровой экономики, добиться всеобщей цифровой грамотности. Для этого следует серьезно усовершенствовать систему образования на всех уровнях: от школы до высших учебных заведений. И конечно, развернуть программы обучения для людей самых разных возрастов» [20].

Многие зарубежные ученые (К. Beecher [26], D. Berry [27], J. Maliekal [30], O. Yasar [29; 30]) вкладывают в понятие «вычислительная педагогика» определенную образовательную среду, в которой все участники деятельности, вне зависимости от того являются ли они человеческими или программными агентами, используют общие правила и общий язык, на котором они говорят. Российские исследователи Е.Д. Патаракин и Б.Б. Ярмахов рассматривают эту дефиницию как «социотехническое проектирование средств и сценариев деятельности, направленное на освоение учащимися умений вычислительного мышления, вычислительного участия и вычислительной рефлексии» [18, с. 502].

Мы придерживаемся более общей точки зрения [4], и считаем, что вычислительная педагогика является новой ветвью педагогических знаний [6], где основные проблемы в своей основе похожи на проблемы традиционной педагогики, их постановка не противоречит, а наоборот основывается на достижениях синергетики, традиционной психолого-педагогической науки и образовательной практики. Средства решения этих

проблем имеют свои особенности, которые отличаются от использования традиционных методов классической педагогики и акцентируют внимание на специфических аспектах строения и особенностях педагогической деятельности в моделирующих системах, в условиях, где все скрупулезно взвешивается, подтверждается теоретическим обоснованием и математическим доказательством (или расчетами), компьютерным моделированием, оптимизационным подкреплением (на основе систем искусственного интеллекта) [10; 11], использованием инновационных идей, которые «обкатаны» и испытаны в других областях знаний.

В педагогике, как и в других науках, вопросы доказательности стоят на первом месте, но особенно остро встает проблема нахождения *педагогического прогноза* [7; 8]. Сложность состоит в субъективно-причинной многогранности педагогической деятельности, и в том, что на объект исследования одновременно действует огромное количество причин и факторов, которые ведут себя по-разному: иногда они работают в одних сочетаниях, порождая одни связи, а порой действуют в других сочетаниях, вызывая, совершенно другие корреляции и производя при этом совсем иное воздействие на объект исследования. Трудность здесь состоит в том, что сочетание компонентов и наличие (отсутствие) между ними связей постоянно меняется, как видоизменяется и сам объект изучения, который постоянно находится в движении и состоянии изменчивости. Дело в том, что выявленные связи не только сами по себе меняются, но они меняют и окружающее образовательное пространство. Следовательно, при их определении в первичном эксперименте они существенным образом изменяются относительно повторных измерений. В сущности, экспериментатор уже имеет дело фактически с другим «материалом», а это происходит из-за того, что никогда не удастся соблюсти те же условия эксперимента, которые были раньше. Иными словами, большинство педагогических процессов и явлений имеют вероятностный характер.

Материалы и методы

В наиболее общем понимании, *форма организации обучения* – это внешнее во времени и в пространстве выражение согласованной деятельности обучающихся и преподавателя. Она определяет, каким способом, в каком порядке или режиме (в том числе и временном) должен быть организован процесс обучения. Поэтому форма обучения, прежде всего, связана с местом обучения, порядком его исполнения, временными рамками, и с количеством участников этого процесса.

Еще советский ученый-педагог М.И. Махмутов при изучении форм организации учебного процесса в образовательном учреждении, указывал, что существует необходимость различать два термина, включающих слово «форма», а именно: «*форма обучения*» и «*форма организации обучения*». Первое словосочетание (форма обучения) означает *индивидуальную, коллективную и фронтальную* работу обучающихся на занятии (уроке), второе (форма организации обучения) – обозначает какой-либо вид занятия, например *урок, консультация, предметный кружок* и т. п. [15, с. 49]. В контексте данной темы исследования, мы будем использовать только первую дефиницию.

Индивидуальная форма обучения не требует наличия общей цели деятельности; каждый ее участник работает независимо от других членов образовательного процесса, в соответствии со своими индивидуальными наклонностями, стремлениями, воз-

возможностями и способностями; при этом он выбирает собственный для себя образовательный маршрут (траекторию), темп и скорость работы.

Коллективная форма обучения, наоборот предусматривает наличие общей цели и объединения усилий обучающихся для ее достижения. Чаще всего она достигается на основе распределения функций и обязательств между участниками деятельности, в виде сотрудничества в процессе ее достижения, ответственности каждого участника образовательного процесса за результат своей работы перед коллективом. Поэтому, ее по-другому еще называют *кооперативной формой обучения* [28].

Фронтальная форма обучения подразумевает такой вид деятельности преподавателя и обучающихся, когда все они одновременно выполняют одинаковую, общую для всех работу, все вместе обсуждают, сравнивают и обобщают ее результаты. Педагог ведет работу со всеми обучающимися одновременно, общается с ними непосредственно в ходе своего объяснения или показа, и вовлекает всех в обсуждение рассматриваемых вопросов.

Выбор правильной формы обучения является важной дидактической проблемой, которая постоянно обсуждается исследователями и педагогами-практиками. Среди новых идей, ученые Н.К. Нуриев, С.Д. Старыгина и Э.А. Гибадуллина предлагают дидактическую инженерию рассматривать в качестве новой методологии, в рамках которой решаются задачи, в том числе и выбора оптимальных форм обучения. По сути, они предлагают спроектировать систему обучения нового поколения, нацеленную на развитие профессионально значимых способностей обучаемых с учетом их психологических особенностей, что позволит обеспечить обучение на грани допустимой трудности (развивающее обучение) и тем самым добиться быстрого развития ключевых способностей через его зоны «ближайшего развития» [17]. Исследователь А.И. Митин, изучая коллективную форму обучения для группового принятия решения, предлагает сценарный подход при организации учебной деятельности, который в частности содержит характеристики и описание принципов работы соответствующих автоматизированных рабочих мест обучаемых, а также методы их работы на занятии [16].

Исследование проблемы отбора форм обучения отражено в работах многих исследователей, но вопросы их комплексного выбора в контексте компетентностной парадигмы образования изучены слабо. Так, например, И.В. Глушко и Т.М. Зуева, рассматривая вопросы мониторинга качества образовательной деятельности считают, что именно кооперативные формы обучения дают способность будущим специалистам работать эффективно в коллективе [1], а В. Стриелковски, Л.С. Киселева и Е.Н. Попова, изучая детерминанты качества университетского образования, пришли к мнению, что реализация индивидуальных форм обучения приносит основные преимущества выпускникам образовательных учреждений [23].

На основе проведенного анализа был сделан вывод, что все эти работы способствуют накоплению и систематизации знаний по теме исследования, но в целом проблема оптимального выбора форм обучения остается нерешенной. Слабоизученными являются аспекты реализации идей компьютеризированной педагогики в выборе форм обучения на основе вычислительных подходов. Поэтому нами сделана попытка восполнения этой брешы на основе, так называемой *Марковской модели иерархий*.

Как известно, характерной особенностью педагогических процессов является неоднозначность их протекания. Как было сказано выше, результаты обучения, воспитания и развития зависят одновременно от влияния многих факторов. Иногда ход и следствия педагогического процесса существенным образом меняются даже тогда, когда изменя-

ется влияние лишь одной-двух несущественных причин. Поэтому этот процесс имеет вероятностный характер своего функционирования. А поскольку стохастическая (т. е. неоднозначная, неопределенная) основа накладывает серьезные ограничения на применение известных в педагогике приемов, то это заставляет исследователей применять для получения объективных выводов совершенно новые, нетривиальные подходы и методы. Одним из таких подходов и является Марковская модель иерархий [26].

Очень часто во множестве социальных процессов, в том числе, и в педагогике наблюдаются случайные события, связанные между собой подобно звеньям одной цепи. Цепь, соединяющая эти события, обладает особым свойством: *каждое ее звено в некотором роде определяет, каким будет следующее звено, которое, тем не менее, не зависит от предыдущего*. Эти цепи изучал русский математик Андрей Андреевич Марков [14], и теперь они названы в его честь.

Для того чтобы понять, что такое *цепь Маркова*, сначала рассмотрим простой пример. Представим себе, что у нас есть ручка управления (джойстик), которая может перемещать (адресовать) указатель в одно из пяти направлений движения (русло), обозначенные буквами *A, B, C, D и E* (см. рис. 1). Все они вместе образуют единый поток (шину) под названием «валидность», которую определяют как *качественную характеристику педагогического измерения*. Именно она устанавливает: действительно ли, в самом деле, мы измеряем то, что нам надо, или мы определяем что-то иное, второстепенное. Качество результатов любого измерения принято оценивать по следующим общепринятым критериям: 1) объективность; 2) надежность; 3) валидность. Валидность, это:

- A) вероятность появления определенного результата;
- B) достоверность, с которой исполняются намерения исследователя;
- C) вероятность достижения заданного уровня;
- D) достоверность достижения запроектированного уровня;
- E) вероятность тестирования проблемной области.

Отсюда вытекает, что валидность можно толковать как вероятностную достоверность, с которой исполняются наши ожидания относительно содержания исследуемого педагогического объекта, явления или процесса, а также полученных результатов и прогнозов на будущее.

Как известно, глубинная сущность педагогических явлений часто скрыта и замаскирована. На поверхности находятся разнообразные процессы, некоторые из них мы можем принять за главные признаки сущности. Чтобы установить, в самом ли деле мы определили главное, для этого и необходимо определить валидность.

Пусть наш указатель будет выбирать то русло, которое подчиняется чисто случайным законам. Для этого воспользуемся броском монеты: будем бросать ее шесть раз согласно следующему правилу: *если выпадает решка, мы перемещаем указатель на одно русло влево, если выпадает орел – на одно русло вправо*. Когда указатель попадает в одно из крайних русел, *A* или *E*, он остается на месте вне зависимости от результата следующего броска монеты.

Предположим, что изначально указатель находится в русле *B*, а результат бросков монеты выглядит так: ООРООР (где, буква Р – решка, О – орел).

Таким образом, в ходе эксперимента указатель будет занимать следующие положения русел (см. рис. 1):

В результате указатель оказался в русле *E*. Последовательность перемещений указателя можно записать и на основе обозначений названий (букв) русел: BCDCDEE.

Предположим, что изначально указатель находится в русле *E*, тогда вектор начальных вероятностей будет иметь вид: $P = (0, 0, 0, 0, 1)$. Напомним, что вероятность – это число, заключенное между 0 и 1. Так, запись $P = 0,7$ означает вероятность в 70 %, то есть благоприятный исход в 70 случаях из 100 возможных. Таким образом, 1 обозначает достоверное событие, 0 – невозможное событие. Именно поэтому последняя составляющая вектора равна единице (1), остальные – нулю (0). Если бы указатель находился в русле *C*, вектор начальных вероятностей записывался бы как: $P = (0, 0, 1, 0, 0)$.

Указатель можно переместить в русло *B* разными способами. Рассчитаем вероятность перехода из русла *C* в русло *B* за один ход. По нашему правилу, чтобы это произошло, при броске монеты должна выпасть решка. Как всем известно, вероятность этого события равна 0,5 (50 % х 50 %). Обозначим эту вероятность как $P_{CB} = 0,5$. В соответствии с этим критерием можно вычислить вероятности всех смен состояний за один ход и записать их в виде таблицы (см. рис. 2):

	A	B	C	D	E
A	1	0	0	0	0
B	0,5	0	0,5	0	0
C	0	0,5	0	0,5	0
D	0	0	0,5	0	0,5
E	0	0	0	0	1

Рисунок 2 Таблица вероятностей смены всех состояний указателя за один ход

Если убрать обозначения названий русел, то, по сути, мы имеем матрицу.

Когда указатель находится в русле *E* (см. нижнюю строку), вероятность того, что он останется в этом русле, равна 1, а вероятность того, что он переместится в любое другое русло, равна 0. Аналогично записывается строка, соответствующая другому крайнему руслу *A* (см. верхнюю строку). В любой другой (внутренней) строке, к примеру, той, что соответствует руслу *C*, вероятность того, что указатель переместится за один ход в несмежное русло, равна 0, вероятность перехода в смежное русло – 0,5.

В этой матрице представлены все 25 вероятностей, соответствующие возможным состояниям нашего эксперимента.

Все элементы этой матрицы обозначают вероятности, следовательно, заключены на интервале от 0 до 1, поэтому сумма элементов в любой строке этой матрицы всегда будет равна 1.

Предположим, что мы хотим вычислить вероятность, с которой произойдет последовательность переходов $t_D \rightarrow t_C \rightarrow t_B \rightarrow t_A$. Очевидно, что искомая вероятность будет равна произведению следующих вероятностей, указанных в таблице:

$$P_D \cdot P_{DC} \cdot P_{CB} \cdot P_{BA} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,0625.$$

Все педагогические процессы, к которым можно применить подобное правило, называются марковскими. Их характерная особенность заключается в том, что *вероятность перехода в определенном направлении на следующем шаге определяется только текущим состоянием процесса, а не предыдущими его состояниями*. Это и есть пример цепей Маркова.

Результаты исследования

А теперь, на основе теории цепей Маркова рассмотрим задачу о выборе преподавателем одной из форм обучения F_1 (индивидуальная), F_2 (коллективная) и F_3 (фронтальная) по критериям *трудозатрат* на ее реализацию и эффективности от ее применения. Пусть веса критериев (вероятности) равны: трудозатраты – 0,6, а эффективность – 0,4. Сравнение альтернатив дает следующие относительные приоритеты: по трудозатратам: $F_1 - 0,1$, $F_2 - 0,2$, $F_3 - 0,7$ (эти оценки получены из величин, обратных коэффициентам трудовой напряженности по каждой форме обучения), а по эффективности каждой формы обучения: $F_1 - 0,6$, $F_2 - 0,3$, $F_3 - 0,1$ (эти оценки были получены из предварительного эксперимента) [19, с. 57].

Наибольшим коэффициентом обладает форма обучения F_1 (поэтому она имеет наименьший приоритет – чем выше трудозатраты, тем хуже для педагога), наименьшей – F_3 , а по эффективности формы обучения наоборот – наибольшая продуктивность у варианта F_1 , а наименьшая – у F_3 (чем выше эффективность, тем лучше для педагога), то есть такая ситуация встречается довольно часто. Логическая схема решения представляет собой обычную доминантную иерархию, которая изображена на рис. 3.

Рисунок 3 Шестиуровневая иерархия для выбора самой продуктивной формы обучения

Марковское свойство означает, что *вероятность попасть в состояние на следующем шаге зависит только от состояния в данный момент и не зависит от предыстории процесса, то есть от того как он попал в это состояние.*

Для решения этой задачи можно использовать так называемый *метод анализа иерархий* (МАИ), который, как доказывают математики [13; 21], является частным случаем *однородной цепи Маркова* (ОЦМ). Под однородной цепью Маркова понимают такую цепь, в которой сохраняется выше рассмотренное марковское свойство независимости распределения вероятностей переходов P из данной вершины графа в смежные вершины независимо от того, по какой траектории процесс попал в эту вершину [24; 25].

Для нашего случая множество состояний цепи является объединение элементов всех уровней иерархии, т. е. $S = \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$, где цифры обозначают состояния шести-уровневой иерархии: 0 – выбор формы обучения, 1 – трудозатраты, 2 – эффективность, 3 – индивидуальная, 4 – коллективная, 5 – фронтальная форма обучения. Вероятность перехода P_j равна относительному приоритету элемента иерархии j относительно элемента i предыдущего уровня, а вероятности перехода P_{30} , P_{40} и P_{50} равны единице и являются весовыми значениями фиктивных дуг, соединяющих вершины-варианты (альтернативы) с вершиной-целью. Индексы, стоящие внизу показывают с какого уровня иерархии происходит переход; например P_{40} – с 4-го на нулевой. Все остальные вероятности перехода равны нулю. Таким образом, сумма весов всех дуг, исходящих из любой вершины графа равна единице, а сам граф является сильно связным.

Вероятность переходов рассчитывается по следующей формуле:

$$P = \begin{bmatrix} 0 & A_1 & 0 \\ 0 & 0 & A_2 \\ & I_3 & \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & p_{01} & p_{02} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{13} & p_{14} & p_{15} \\ 0 & 0 & 0 & p_{23} & p_{24} & p_{25} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,7 \\ 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,3 & 0,1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

где начальная матрица состоит как бы из трех уровней шагов: шаг от выбора формы до выбора альтернативы трудозатрат и эффективности (A_1); шаг от трудозатрат и эффективности до выбора самих форм обучения (A_2); и, наконец обратный шаг от выбранных конкретных форм (индивидуальная, коллективная и фронтальная) к начальному шагу (обозначается как тройная единичная матрица I_3).

Как было объяснено выше в примере, вероятности состояний после t шагов вычисляются через *матрицу вероятностей переходов* (МВП) и начальное распределение состояний по следующей формуле:

$$\chi(t+1) = \chi(t)P = \chi(0)P^t,$$

где $\chi(0) = (1, 0, 0, 0, 0, 0)$. Проследим поведение МВП при возведении ее в степени $t = 2, 3, \dots$

$$P^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & p_{01}p_{13} + p_{02}p_{23} & p_{01}p_{14} + p_{02}p_{24} & p_{01}p_{15} + p_{02}p_{25} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_{01} & p_{02} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_{01} & p_{02} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_{01} & p_{02} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0,3 & 0,24 & 0,46 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Матрица P^3 имеет следующий вид:

$$P^3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,3 & 0,24 & 0,46 \\ 0 & 0 & 0 & 0,3 & 0,24 & 0,46 \\ 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

После t шагов получим следующие распределения вероятностей (при $t \geq 0$):

- 1) $\chi(3t+0) = \chi(0)P^{3t} = (1, 0, 0, 0, 0, 0)$;
- 2) $\chi(3t+1) = \chi(0)P^{3t+1} = (0, 0,6, 0,4, 0, 0, 0)$;
- 3) $\chi(3t+2) = \chi(0)P^{3t+2} = (0, 0, 0, 0,3, 0,24, 0,46)$.

Если в начальный момент 0 процесс стартует из состояния 0, то в момент после 3 шагов (т. к. вся иерархия имеет 3-х уровневую систему) он снова находится в состоянии

0. В момент времени + 1 – либо в 1, либо во 2 состоянии с вероятностями 0,6 и 0,4, а в момент времени + 2 – либо в 3, либо в 4, либо в 5 с вероятностями 0,3; 0,24 и 0,46.

Более простой способ определения вероятностей состояний находят перемножением матрицы второго шага (A_2) на матрицу первого шага (A_1), по формуле:

$$P = A_1 A_2 = \begin{bmatrix} p_{13} & p_{23} \\ p_{14} & p_{24} \\ p_{15} & p_{25} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{01} \\ p_{02} \end{bmatrix}^t = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,6 \\ 0,2 & 0,3 \\ 0,7 & 0,1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,6 \\ 0,4 \end{bmatrix}^t = \begin{bmatrix} 0,3 \\ 0,24 \\ 0,46 \end{bmatrix}^t.$$

Расчет можно выполнить, используя доступную всем программу электронных таблиц Excel офисного пакета Microsoft Office (операция перемножения матриц: =МУМНОЖ()) (см. рис. 4).

Рисунок 4 Операция перемножения матриц в программе Excel

Результат можно трактовать следующим образом: первая альтернатива (индивидуальная) получает 30 %, вторая (коллективная) – 24 % и третья (фронтальная) – 46%. Иными словами, преподавателю необходимо при такой раскладке трудовых затрат и степени эффективности, лучше всего выбрать фронтальную форму обучения.

Обсуждение результатов

Рассмотренное выше решение о выборе конкретных форм обучения было получено в соответствии с приоритетом преподавателя к трудовым затратам по подготовке и проведению занятия (60 %, против 40 % к эффективности). Поскольку он во главу угла ставит именно свои трудовые затраты, а не эффективность проведения занятия, то ему лучше использовать фронтальную форму обучения (46 % больше чем 30 % для индивидуальной, и тем более чем 24 % для групповой формы обучения). К сожалению, такой подход наблюдается у большей части преподавательского корпуса. Но, как известно, фронтальная работа ориентирована на среднего обучающегося, поэтому «отдельные обучающиеся отстают от заданного темпа работы, а другие – изнывают от скуки» [22, с. 257]. Современная педагогика требует иного подхода к выбору форм обучения, поэтому возникает вопрос: «А как добиться максимальной продуктивности занятия, затрачивая на его подготовку и проведение минимум энергии (труда)?».

Для этого нам на помощь и приходят вычислительные методы. Используя механизм выбора форм обучения на основе Марковской модели иерархий, можно варьировать исходные данные, при этом точно получать желаемый результат прогноза. Так,

например, изменив цифру вероятности отношения педагога к трудозатратам до 46%, а эффективности – до 54% (при тех же вероятностных значениях между другими иерархиями), выбор альтернатив между индивидуальной и фронтальной формами обучения станет почти равнозначным (см. первое и последнее значение: 0,37, 0,254, 0,376). А если, наоборот, приоритеты преподавателя по отношению к эффективности и трудозатратам изменятся на противоположное (60%, против 40%), то такому преподавателю система прогноза порекомендует выбрать *индивидуальную форму обучения* (см. первое значение: 0,4, 0,26, 0,34), к которой гораздо сложнее подготовиться, т. к. коэффициент трудовой напряженности резко возрастет. Ведь увеличиваются трудозатраты преподавателя на разработку индивидуализированных карточек-заданий, учитывающих личностные особенности обучающегося: его уровень обученности (подготовленности), уровень интеллектуального развития, темп восприятия учебной информации, физиологические особенности и т. п., при этом, на занятии каждому в отдельности обучающемуся, преподавателю придется больше уделять времени. Все это позволит педагогу следить за каждым действием и операцией при решении обучающимся конкретных задач; позволит наблюдать за его продвижением от незнания к знанию; даст возможность вовремя вносить необходимые коррективы в его деятельность (и в собственную тоже).

Предложенная система выбора форм обучения также позволяет точно определить вероятностные характеристики для выбора других форм обучения. Так, например, в исходном примере веса критериев (вероятности) трудозатрат пусть остаются прежними, а вот оценки эффективности каждой формы обучения пусть поменяются в пользу коллективной формы обучения: $F_1 - 0,3$, $F_2 - 0,6$, $F_3 - 0,1$; также поменяем местами вероятности изначальной приверженности преподавателя к повышению эффективности занятия ($P = 0,6$), а не к трудозатратам ($P = 0,4$). Тогда, после расчета с этими коэффициентами, модель анализа иерархий предложит преподавателю выбрать уже *коллективную форму обучения*. Это необходимо тогда, когда требуется усилить процесс социализации обучаемых, приспособить их для работы в группе. Ведь групповое обучение, это такое обучение, при котором коллектив обучает и воспитывает каждого своего члена, и каждый член активно участвует в обучении и воспитании своих товарищей по совместной учебной работе. Такое общение обучающихся и обучаемых, как правило, осуществляется в динамических парах или парах сменного состава. Необходимо отметить, что коллективная форма обучения также достаточно трудозатратная, т. к. связана уже с другим аспектом – со сложностями организационно-методического характера [22, с. 259].

Заключение

Педагогические процессы и явления, очень часто связаны с недосказанностью, с нечетким и расплывчатым выражением своей сути, а самое главное – с неопределенностью условий и причин, которые наиболее влияют на правильность их толкования. Также необходимо учитывать и то, что в построении психолого-педагогических моделей этих процессов и явлений участвует живой человек, которому присуща уникальность, с неповторимыми чертами личности, с индивидуальными способностями, темпераментом, характером, физиологическими и психическими особенностями. Большинство перечисленных составляющих имеют стохастический характер, а, следо-

вательно, к ним можно применить законы теории вероятности, в частности расчетную методологию цепей Маркова. Поскольку она достаточно хорошо изучена математиками, то ее с успехом можно использовать для получения результатов прогноза в принятии конкретных педагогических решений.

С помощью идей вычислительной педагогики могут решаться самые насущные и трудные проблемы обучения, воспитания и развития, в частности на научно-доказательном уровне можно обоснованно и правильно выбирать формы обучения. Теперь теоретические умозаключения и многие эмпирические исследования можно точно проверить на достоверность с помощью Марковской модели иерархий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глушко И.В., Зуева Т.М. Мониторинг качества образовательной деятельности в вузе : теоретико-правовой и практический аспекты // Перспективы Науки и Образования. 2018. № 4 (34). С. 26–32. DOI: 10.32744/pse
2. Коляда М.Г. Виды моделей, обучаемых в автоматизированных обучающих системах // Искусственный интеллект. 2008. № 2. С. 28–33.
3. Коляда М.Г. Дидактическая составляющая моделей обучаемых в автоматизированных обучающих системах // Искусственный интеллект. 2008. № 4. С. 451–457.
4. Коляда М.Г. Компьютационная педагогика : учебное пособие. Донецк : Ноулидж, Донец. отделение, 2013. 321 с. (http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe)
5. Коляда М.Г. О психологической классификации моделей обучаемых // Бионика интеллекта. 2008. № 2. С. 101–105.
6. Коляда М.Г., Бугаева Т.И. Вычислительная педагогика : монография. Ростов-на Дону : Издательство Южного федерального университета, 2018. 271 с.
7. Коляда М.Г., Бугаева Т.И. Педагогическое прогнозирование в компьютерных интеллектуальных системах : Уч. пособие. М. : Изд-во «Русайнс», 2015. 380 с. DOI: 10.15216/978-5-4365-0435-3
8. Коляда М.Г., Бугаева Т.И. Педагогическое прогнозирование : теоретико-методологический аспект : монография. Нац. акад. пед. наук Украины, ДВНЗ «Ун-т менеджмента образования». Киев ; Донецк : Ноулидж, Донец. отд.-е, 2014. 267 с. (http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe)
9. Коляда М.Г., Бугаева Т.И. Принятие педагогических решений на основе анализа иерархий по методу Саати // Образовательные технологии и общество. 2015. № 2 (18). URL: http://ifets.ieee.org/russian/periodical/V_182_2015EE.html. (дата обращения: 11.01.2019)
10. Коляда М.Г., Бугаева Т.И. Проблемы применения искусственного интеллекта в педагогике // Педагогическая информатика. 2018. № 4. С. 77–86. URL: http://pedinf.ru/content_4.18.htm (дата обращения: 11.01.2019)
11. Коляда М.Г., Бугаева Т.И. Реализация идей искусственного интеллекта для нахождения иерархии мотивов обучения // Информатика и образование. 2018, № 10. С. 12–19. DOI: 10.32517/0234-0453-2018-33-10-12-19
12. Компьютационная педагогика: психолого-педагогические проблемы, поиски, решения : материалы Региональной научно-практической конференции (14-15 мая 2013 г.) / Под общ. ред. М.Г. Коляды // Ин-т последипломного образования инж.-пед. работников (г. Донецк) Ун-та менеджмента образования. Донецк : ИПО ИПР УМО, 2013. 144 с.
13. Майн Х. Марковские процессы принятия решений / Х. Майн, С. Осаки. М. : Наука, 1977. 176 с.
14. Марков А.А. Распространение закона больших чисел на величины, зависящие друг от друга // Известия физико-математического общества при Казанском университете. 1906. С. 135–156.
15. Махмутов М.И. Современный урок / М.И. Махмутов. М. : Педагогика, 1985. 184 с.
16. Митин А.И. Обучение групповому принятию решений в учебных ситуационных центрах / [Электронный ресурс] // Психолого-педагогические исследования. 2018. Том 10. № 3. С. 84–98. DOI: 10.17759/psyedu.2018100308
17. Нуриев Н.К., Старыгина С.Д., Гибадуллина Э.А. Дидактическая инженерия : проектирование систем обучения нового поколения // Интеграция образования. 2016. Т. 20, № 3. С. 393–406. DOI: 10.15507/1991-9468.084.020.201603.393-406
18. Патаракин Е.Д. Вычислительная педагогика : мышление, участие и рефлексия / Е.Д. Патаракин и Б.Б. Ярмахов // Образовательные технологии и общество. 2018. № 4 (21). С. 502–523. URL : https://elibrary.ru/download/elibrary_36407270_51874062.pdf. (дата обращения: 11.01.2019)
19. Подласый И.П. Диагностика и экспертиза педагогических проектов. К.: Изд-во «Украина», 1998. 343 с.
20. Путин В.В. Речь Президента на Петербургском международном экономическом форуме 2017 г. // [Электронный ресурс]. URL: <https://ok.ru/video/293129225575> (дата обращения: 11.01.2019)
21. Рыков В.В. Теория случайных процессов : конспект лекций. М. : РУДН, 2008. 143 с.

22. Сластёнин В.А. Педагогика : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.А. Сластёнин, И.Ф. Исаев, Е.Н. Шиянов; под ред. В.А. Сластёнина. 9-е изд., стер. М. : Издательский центр «Академия», 2008. 576 с.
23. Стриелковски В., Киселева Л.С., Попова Е.Н. Детерминанты качества университетского образования : мнение студентов // Интеграция образования. 2018. Т. 22, № 2. С. 220–236. DOI: 10.15507/1991-9468.091.022.201802.220-236
24. Сухарев М.Г. Марковские процессы (прикладные аспекты). М. : МИНГ, 1994. 99 с.
25. Ховард Р.А. Динамическое программирование и марковские процессы / Р.А. Ховард. М. : МИР, 1967. 192 с.
26. Beecher K. Computational Thinking. BCS, The Chartered Institute for IT, 2017. 306 p.
27. Berry D. The computational turn: Thinking about the digital humanities // Culture Machine. 2011. Vol. 12.
28. Kolyada M.G. Energizing Students in Class on the Basis of Positional Training Model / Mikhail Kolyada, Tatyana Bugayeva, Grigoriy Kapranov // The New Educational Review 2016. Vol. 43, pp. 78–91. Available at : <https://yandex.ua/search/?lr=142&msid=1494676285.38098.22908.26004&text=Energizing%20students%20in%20class%20on%20the%20basis%20of%20positional%20training%20model>. DOI: 10.15804/tner.2016.43.1.06
29. Yasar O. Computational Pedagogical Content Knowledge (CPACK) : Integrating Modeling and Simulation Technology into STEM Teacher Education / Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2015. P. 3514–3521.
30. Yasar O., Maliekal J. Computational Pedagogy: A Modeling and Simulation Approach // Computing in Science Engineering. 2014. Vol. 16, no 3. P. 78–88.

REFERENCES

1. Glushko I.V., Zueva T.M. Monitoring the Quality of Educational Activities in Higher Educational Establishment : Theoretically-Legal and Practical Aspects. *Perspectives of Science and Education*. 2018. no 4 (34). (in Russian). DOI: 10.32744/pse
2. Koliada M.G. Types of Models Trained in Automated Training Systems. *Artificial Intelligence*. 2008. no. 2. pp. 28–33. (in Russian)
3. Koliada M.G. Didactic Component of Models of Students in Automated Training Systems. *Artificial Intelligence*. 2008. no. 4. pp. 451–457. (in Russian)
4. Koliada M.G. Computational Pedagogic : Manual. Donetsk, Noulidzh, Donetsk branch, 2013. 321 p. (http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe) (in Russian)
5. Koliada M.G. On Psychological Classification of Trainee Models. *Bionics of Intelligence*. 2008. no. 2. pp. 101–105. (in Russian)
6. Koliada M.G., Bugayova T.I. Computational Pedagogic : Monograph. Rostov-on-Don, Publishing House of Southern Federal University, 2018. 271 p. (in Russian)
7. Koliada M.G., Bugayova T.I. Pedagogical Forecasting in Computer Intellectual Systems : Manual. Moscow, Publishing House "Rusyns", 2015. 380 p. DOI : 10.15216/978-5-4365-0435-3 (in Russian)
8. Koliada M.G., Bugayova T.I. Pedagogical Forecasting : Theoretical and Methodological Aspect : Monograph; NAT. Akad. PED. of Sciences of Ukraine, SU "University of Management Education". Kiev ; Donetsk : Noulidzh, Donetsk branch, 2014. 267 p. (http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe) (in Russian)
9. Koliada M.G., Bugayova T.I. Pedagogical Decision-making Based on the Analysis of Hierarchies by the Method of Saati. *Educational Technologies and Society*. 2015. no. 2 (18). Available at : http://ifets.ieee.org/russian/periodical/V_182_2015EE.html (accessed 11 January 2019). (in Russian)
10. Koliada M.G., Bugayova T.I. Problems Artificial Intelligence Application in Pedagogics. *Pedagogical Informatics*. 2018. no. 4. pp. 77–86. Available at : http://pedinf.ru/content_4.18.htm. (accessed 11 January 2019). (in Russian)
11. Koliada M.G., Bugayova T.I. Realization of Ideas of Artificial Intelligence for the Finding of Hierarchy of Motives of Training. *Informatics and Education*, 2018, no. 10, pp. 12–19. (in Russian) DOI: 10.32517/0234-0453-2018-33-10-12-19
12. Computational Pedagogy : Psychological and Pedagogical Problems, Searches, Decisions : *Materials of Regional Scientifically-practical Conference (14-15 may, 2013) / Under the General ed. of M.G. Koliada / Institute of Postgraduate Education, Engineering-pedagogical Employees (Donetsk) of the Educational Management Unit*. Donetsk : IPE IPE UMO, 2013. 144 p. (in Russian)
13. Main H. Markov Decision Processes / H. Mine, S Osaki. Moscow, Science Publ., 1977. 176 p. (in Russian)
14. Markov A.A. The Extension of the Law of Large Numbers to the Quantities that Depend on Each Other / *Proceedings of the Physical-mathematical Society at the University of Kazan*. 1906. pp. 135–156. (in Russian)
15. Makhmutov M.I. Modern Lesson. Moscow, Pedagogy Publ., 1985. 184 p. (in Russian)
16. Mitin A.I. Training in Group Decision Making in Situational Training Centers. *Psychological-Educational Studies*, 2018. Vol. 10, no. 3, pp. 84–98. (in Russian). DOI: 10.17759/psyedu.2018100308. (In Russ., abstr. in Engl.)
17. Nuriyev N.K., Starygina S.D., Gibadullina E.A. Didactic Engineering : Designing New Generation Learning Systems. *Integratsiya obrazovaniya = Integration of Education*. 2016; no. 3 (20). pp 393–406. (in Russian). DOI: 10.15507/1991-9468.084.020.201603.393-406
18. Patarakin E.D. Computational pedagogy : Thinking, Participation and Reflection / E.D. Patarakin and B.B. Ermakov.

Educational Technologies and Society. 2018. no 4 (21). pp. 502–523. Available at : https://elibrary.ru/download/elibrary_36407270_51874062.pdf. (in Russian)

19. Podlasie I.P. Diagnosis and Examination of Pedagogical Designs. Kiev, Publishing House "Ukraine", 1998. 343 p. (in Russian)
20. Putin V.V. Speech of the President at the St. Petersburg International Economic Forum 2017. Available at: <https://ok.ru/video/293129225575> (accessed 11 January 2019) (in Russian)
21. Rykov V.V. Theory of Stochastic Processes : Lectures. Moscow, RUDN Publ., 2008. 143 p. (in Russian)
22. Slastenin V.A. Pedagogy : Textbook for stud. higher. studies'. institutions / V.A. Slastenin, I.F. Isaev, E.N. Shiyarov; ed. by V.A. Slastenin. 9 edition, erased. Moscow, Publishing center "Academy", 2008. 576 p. (in Russian)
23. Strielkowski W., Kiseleva L.S., Popova E.N. Factors Determining the Quality of University Education : Students' Views. *Integratsiya obrazovaniya = Integration of Education*. 2018; no. 22 (2). pp 220–236. (in Russian) DOI: 10.15507/1991-9468.091.022.201802.220-236
24. Sukharev M.G. Markov Processes (applied aspects). Moscow, MING Publ., 1994. 99 p. (in Russian)
25. Howard R.A. Dynamic Programming and Markov Processes. Moscow, MIR Publ., 1967. 192 p. (in Russian)
26. Beecher K. Computational Thinking. BCS, The Chartered Institute for IT, 2017. 306 p.
27. Berry D. The Computational Turn : Thinking About the Digital Humanities. *Culture Machine*. 2011. Vol. 12.
28. Kolyada M.G. Energizing Students in Class on the Basis of Positional Training Model / Mikhail Kolyada, Tatyana Bugayeva, Grigoriy Kapranov. *The New Educational Review*, 2016. Vol. 43, pp. 78–91. Available at: <https://yandex.ua/search/?lr=142&msid=1494676285.38098.22908.26004&text=Energizing%20students%20in%20class%20on%20the%20basis%20of%20positional%20training%20model>. (accessed 11 January 2019). DOI: 10.15804/tner.2016.43.1.06
29. Yasar O. Computational Pedagogical Content Knowledge (CPACK) : Integrating Modeling and Simulation Technology into STEM Teacher Education / Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2015. pp. 3514–3521.
30. Yasar O., Maliekal J. Computational pedagogy States : A Modeling and Simulation Approach. *Computing in Science Engineering*. 2014. Vol. 16, no. pp. 78–88.

Информация об авторах

Коляда Михаил Георгиевич

(Украина, Донецк)

Доктор педагогических наук, профессор,
заведующий кафедрой инженерной и
компьютерной педагогики
Донецкий национальный университет
E-mail: kolyada_mihail@mail.ru
ORCID ID 0000-0001-6206-4526

Бугаева Татьяна Ивановна

(Украина, Донецк)

Кандидат педагогических наук, доцент,
доцент кафедры инженерной и компьютерной
педагогики
Донецкий национальный университет
E-mail: bugaeva_tatyana@mail.ru
ORCID ID 0000-0003-1926-1633

Ревякина Елена Геннадиевна

(Украина, Донецк)

Кандидат биологических наук,
доцент кафедры инженерной и компьютерной
педагогики
Донецкий национальный университет
E-mail: revelina@ya.ru.ru
ORCID ID 0000-0002-0401-6355

Белых Сергей Иванович

(Украина, Донецк)

Кандидат педагогических наук, профессор,
заведующий кафедрой физического воспитания
Донецкий национальный университет
E-mail: kf.physical_education@donnu.ru
ORCID: 0000-0002-1770-1116

Information about the authors

Mykhailo G. Koliada

(Ukraine, Donetsk)

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Head of the Engineering and Computational Pedagogic
Department
Donetsk National University
E-mail: kolyada_mihail@mail.ru
ORCID ID 0000-0001-6206-4526

Tatyana I. Bugayova

(Ukraine, Donetsk)

PhD of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of the Engineering and Computational Pedagogic
Donetsk National University
E-mail: bugaeva_tatyana@mail.ru
ORCID ID 0000-0003-1926-1633

Olena G. Reviakina

(Ukraine, Donetsk)

PhD of Biological Sciences,
Associate Professor of the Department
of the Engineering and Computational Pedagogic
Donetsk National University
E-mail: revelina@ya.ru.ru
ORCID ID 0000-0002-0401-6355

Sergey I. Belykh

(Ukraine, Donetsk)

PhD of Pedagogical Sciences, Professor,
Head of the Physical Education Department
Donetsk National University
E-mail: kf.physical_education@donnu.ru
ORCID: 0000-0002-1770-1116