

УДК 510.676, 519.7

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.39.4.018](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.39.4.018)

Применение методов нечеткой логики для формирования адаптивной индивидуальной траектории обучения на основе динамического управления сложностью курса

М.А. Белов[✉], С.И. Гришко, А.В. Живетьев, С.А. Подгорный, Н.А. Токарева

Государственный университет «Дубна», Дубна, Российская Федерация
belov@uni-dubna.ru[✉]

Резюме. В статье представлена модель формирования адаптивной индивидуальной траектории обучения на основе динамического управления сложностью курса с применением методов нечеткой логики. Модель позволяет индивидуально управлять сложностью учебного курса для каждого учащегося, а также наглядно формализовать процесс выдачи практических заданий и обратной связи с учащимися, стимулируя каждого из них продуктивно учиться с учетом личностных особенностей и предпочтений. Внедрение подобных моделей и систем управления в учебный процесс помогает сократить нагрузку на преподавателей в области выбора наиболее подходящих заданий с учетом индивидуальных особенностей учащегося и выделить больше времени для научной, методической и творческой работы, особенно когда используется предоставление учебного материала в форме микрообучения, где широкому кругу учащихся, как правило обучающихся в онлайн режиме, предлагается выполнить большое количество небольших практических заданий, тесно связанных между собой. Также адаптивные траектории обучения призваны способствовать развитию адаптивного мышления и формированию адаптивных стратегий поведения учащихся. Возможность формирования индивидуальных образовательных траекторий является важным элементом онлайн поддержки учебного процесса в среде облачного учебного дата-центра «Виртуальная Компьютерная Лаборатория», созданного Беловым М.А. (<https://belov.global>) в 2007 году в Институте Системного Анализа и Управления Государственного Университета «Дубна», отличительной чертой которого являются принципы самоорганизации.

Ключевые слова: методология ИТ-образования, дистанционное обучение, индивидуальная траектория, цифровая трансформация, микрообучение, нечеткая логика, виртуальная компьютерная лаборатория.

Благодарности: работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект №20-07-00770.

Для цитирования: Белов М.А., Гришко С.И., Живетьев А.В., Подгорный С.А., Токарева Н.А. Применение методов нечёткой логики для формирования адаптивной индивидуальной траектории обучения на основе динамического управления сложностью курса. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2022;10(4). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1249> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.39.4.018

Use of fuzzy logic to create an adaptive individual learning path based on dynamic course complexity management

M.A. Belov[✉], S.I. Grishko, A.V. Zhivetyev, S.A. Podgorny, N.A. Tokareva

Dubna State University, Dubna, Russian Federation
belov@uni-dubna.ru[✉]

Abstract. The article presents a model for creating an adaptive individual learning path based on dynamic control of the course complexity using fuzzy logic methods. The model helps to individually

manage the complexity of the training course for each student and to formalize the process of solving practical tasks and feedback from students motivating them to study productively taking into account personal characteristics and preferences. Implementation of such models and corresponding systems in the training process enables teachers to choose the most appropriate tasks for each student with due regard for individual characteristics and personality. The approach allows teachers to allocate more time for scientific, methodological and creative work, especially with the option to distribute educational materials in the form of microlearning, where a large number of students, usually studying online, is invited to perform many small practical tasks. Also, adaptive learning paths are designed to promote the development of adaptive thinking and adaptive strategies for students behavior. The individual learning path is an important element of online learning management system in the cloud environment of "Virtual Computer Lab" educational data center created by M.A. Belov (<https://belov.global>) in 2007 at the Institute of System Analysis and Control of Dubna State University, the hallmark of which are the principles of self-organization.

Keywords: IT education methodology, distance learning, individual learning path, digital transformation, microlearning, fuzzy logic, virtual computer lab.

Acknowledgements: the reported research was partially supported by the grant of RFBR, project No. 20-07-00770.

For citation: Belov M.A., Grishko S.I., Zhivetyev A.V., Podgorny S.A., Tokareva N.A. Use of fuzzy logic to create an adaptive individual learning path based on dynamic course complexity management. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1249> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.39.4.018 (In Russ.).

Введение

Задачи распределенного хранения данных и расширенной аналитики, интеллектуального анализа данных и математического моделирования данных являются приоритетными для современной цифровой экономики. Сегодня очень важно обучать студентов методам обнаружения ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретаций знаний, необходимых для принятия решений во всех отраслях экономики. При этом они должны уметь выполнять статистический (дескриптивный анализ, корреляционный и регрессионный анализ, факторный анализ, дисперсионный анализ, компонентный анализ, дискриминантный анализ, анализ временных рядов, анализ связей и т. д.), а также частотный анализ данных с применением алгоритмов *Map-Reduce* для формирования витрин данных, эффективно использовать методы классификации, моделирования и прогнозирования, основанные на применении деревьев решений, искусственных нейронных сетей, генетических алгоритмов, эволюционного программирования, ассоциативной памяти, нечеткой логики. Очевидно, что порог вхождения в данную предметную область достаточно высокий, поэтому при выполнении практических заданий, необходимо применять методы динамического управления сложностью. Целеполаганием проведенного исследования является поиск методов и технологий цифровой поддержки учебного процесса с применением последних достижений в области алгоритмической математики, для снижения рутинной нагрузки на преподавателя, связанной с подбором практических заданий оптимального уровня сложности с учетом индивидуальных особенностей учащихся, для обеспечения высокой доходимости до конца учебного курса, стимулируя мотивацию учащихся, благодаря успешному решению тех задач, которые они могут решить с множеством попыток плавного усложнения. В случае невозможности выхода учащегося на высокие уровни сложности происходит снижение итоговой оценки согласно принятой в учебном заведении бально-рейтинговой системе.

Подоплека

К сожалению, в традиционных компьютерных классах нет возможности обучать сложным умениям и навыкам, потому что обработка и анализ данных, а также разработка соответствующих мультиплатформенных программных решений для поддержки цифровой трансформации требуют симбиоза многокомпонентного программного и аппаратного обеспечения, что невозможно реализовать на стандартном компьютере в классе.

К этой проблеме добавилась проблема перехода на дистанционную форму обучения, в которой очень сложно реализовать непосредственное взаимодействие преподавателя и учащегося, а также формирование команд и организацию совместной работы, поскольку молодым людям сложно работать за экраном компьютера без непосредственного вербального общения друг с другом.

В дистанционном обучении особенно важно внедрить автоматизированную систему управления учебным процессом, чтобы обеспечить усвоение материала на необходимом для трудоустройства и дальнейшей работы уровне и удаленное формирование новых умений и навыков, а также мотивировать, исходя из личностных качеств студента, уже имеющихся компетенций и базовых знаний.

Модель формирования адаптивной индивидуальной траектории обучения на основе динамического управления сложностью учебного курса – основа системы онлайн поддержки учебного процесса в среде облачного учебного дата-центра «Виртуальная компьютерная лаборатория» Государственного Университета «Дубна».

В нашем понимании «индивидуальная траектория обучения» или «вариативное обучение» обозначает персональный путь реализации личностного потенциала каждого конкретного учащегося с ориентацией на динамическое изменение темпа освоения курса и его сложности с учетом личностных способностей и особенностей, а также ранее полученных знаний и опыта, где главным показателем является доходимость до конца, а качество остаточных знаний определяется принятой шкалой оценок с учетом выделения общих свойств полученных знаний и компетенций и установления степени их выраженности. Преимуществом такого подхода является максимальное использование творческих возможностей учащихся, их интересов и способностей, с акцентом на внутреннюю мотивацию как совокупность разнородных факторов, побуждающих совершить то или иное действие, а не жесткое внешнее стимулирование, препятствующее саморазвитию, адекватной самооценке, а также порой порождающее страхи в созидательной активности учащегося. При этом следует с осторожностью пользоваться термином «индивидуализация», которая, с одной стороны, является обратной стороной социализации, но с другой, в контексте аналитической психологии Карла Юнга и процесса индивидуации может стать важным результатом вариативного обучения в виде накопления личностью особенного, уникального опыта, рост ее масштаба, творческого потенциала, универсальности, самостоятельности свободы и ответственности.

Учебный дата-центр «Виртуальная Компьютерная Лаборатория»

Виртуальная Компьютерная Лаборатория (ВКЛ) представляет собой набор аппаратных и программных средств виртуализации и контейнеризации, которые обеспечивают гибкое предоставление и использование вычислительных ресурсов в форме облачных Интернет-услуг по требованию с интегрированной системой управления знаниями. Система управления знаниями и принципы самоорганизации, заложенные в основу ВКЛ, позволяют сформировать однородную образовательную среду с элементами когнитивного представления внутренних операционных ресурсов на

основе визуальных моделей и частичной автоматизации основных операций с применением экспертной системы, что снижает порог вхождения и позволяет значительно быстрее получить заданный результат. По сути, теперь учащимся не нужно решать разрозненные, порой оторванные от реальной практики задачи, т. к. им предоставляется прекрасная возможность самостоятельно развешивать и изучать современные информационные системы и самые последние достижения информационных технологий на основе актуальных методологий, теорем и алгоритмов, для создания перспективных программно-технологических решений. Отличительной чертой ВКЛ являются принципы самоорганизации, которые позволяют учащимся перейти от жесткой системы групповых политик безопасности компьютерного класса к системе без ограничений пользовательских прав внутри нее, что должно способствовать развитию чувства личной ответственности, уважения к коллегам, а также призвано обеспечить основу для укрепления и развития основных культурных ценностей [1-5].

Модель формирования индивидуальной траектории обучения

Очевидно, что классическая система электронного обучения не способна формировать знания, навыки и умения, чтобы подготовить ИТ-профессионала в области аналитики больших данных или с широким платформенным мышлением, необходимым для построения распределенных информационных систем массового обслуживания в рамках цифровой трансформации. Процесс освоения состоит из набора обобщенных профессиональных функций, от развешивания системы до решения предметно-ориентированных и алгоритмических задач, которые учащийся должен выполнять самостоятельно или в составе группы. Методология обучения в ВКЛ построена таким образом, что каждый курс позволяет студентам освоить одну или несколько профессиональных функций, таких как:

1. Исследование, предобработка и анализ данных, управление качеством данных.
2. Построение моделей машинного обучения (регрессия, классификация, кластеризация, поиск аномалий, уменьшение размерности и др.).
3. Разработка и утверждение технических заданий на создание методологической и технологической инфраструктуры Big Data.
4. Разработка архитектуры и спецификации многокомпонентных горизонтально-масштабируемых и отказоустойчивых систем.
5. Построение модели операционных рисков, защита данных, разработка механизмов доверия и управление конфиденциальностью.

Каждая профессиональная функция разделена на группы компетенций (умения и навыки). Каждая группа компетенций представляется в виде унитарной задачи. Каждая унитарная задача оценивается экспертами, а оценка сложности выставляется в единицах сложности.

Определение 1. *Единица сложности задачи (ЕСЗ) – это единица измерения, которая используется для управления сложностью задач, включенных в курс; позволяет управлять объемом общей нагрузки на студентов, избегать переутомления, прогнозировать выполнимость намеченной работы.*

Алгоритм оценивания задач экспертной группой выглядит следующим образом:

1. Экспертами выбирается самая простая задача и оценивается в 1 ЕСЗ.
2. Если в рамках выполнения задачи требуется выполнить последовательность тривиальных действий (операций), то каждое действие оценивается отдельно, а итоговое значение ЕСЗ, будет являться суммой ЕСЗ всех действий, в рамках процесса декомпозиции задачи.

3. Если задача имеет оценку в 25 ЕСЗ или больше, мы рекомендуем разделить данную задачу на несколько индивидуальных подзадач, оцененных в ЕСЗ. Такой подход позволяет минимизировать риски невыполнения задачи в срок.

Процесс оценки может быть централизованным или децентрализованным. Если процесс оценки централизован, сложность задач определяется экспертной группой, в которую входят преподаватели, аспиранты и студенты. При децентрализованном подходе каждая задача оценивается группой в сопровождении учителя на первом уроке. Мы рекомендуем управлять учебным процессом, с использованием гибкой методологии Канбан (Рисунок 1).

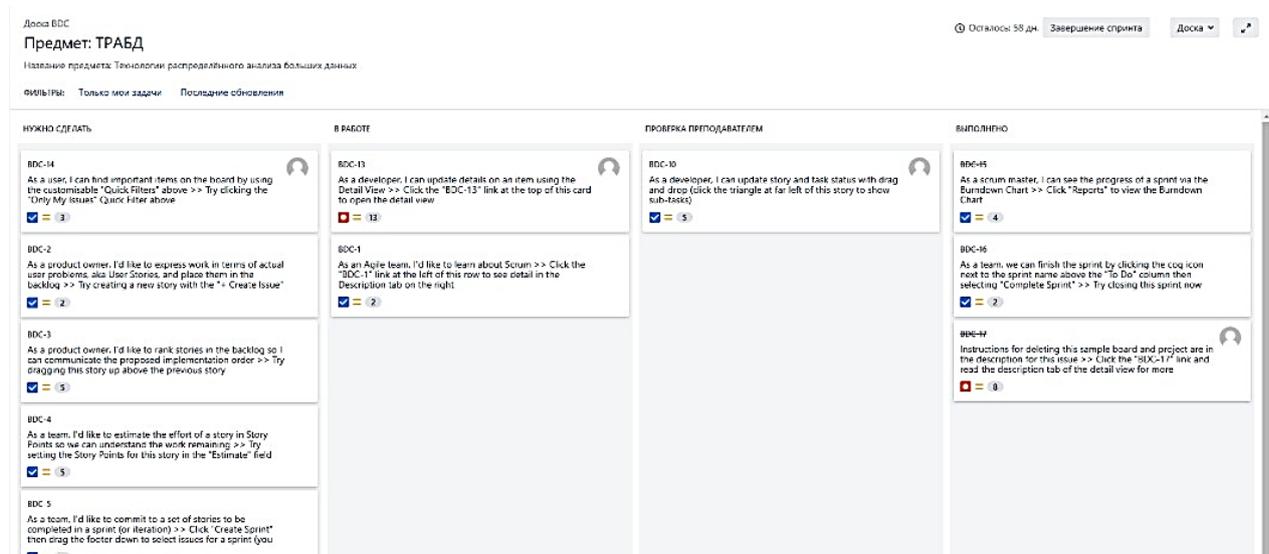


Рисунок 1 – Канбан-доска для учебного курса «Распределенная аналитика больших данных»
Figure 1 – Kanban board for “Distributed Big Data Analytics” training course

Первое занятие считается вводным. Преподаватель объясняет основные организационные моменты, а ученики настраивают рабочее место в Виртуальной Компьютерной Лаборатории и подключение ко всем необходимым системам. Изначально, все задачи располагаются в колонке ToDo. Учащиеся во время выполнения задания переносят задачу из колонки ToDo в колонку In Progress. После успешного выполнения задачи она перемещается в столбец Review. Преподаватель выполняет оценку и, если к результату выполнения задачи замечаний нет, переносит ее в столбец Done или оставляет комментарий с замечаниями к задаче и возвращает его в столбец In Progress (Рисунок 2).

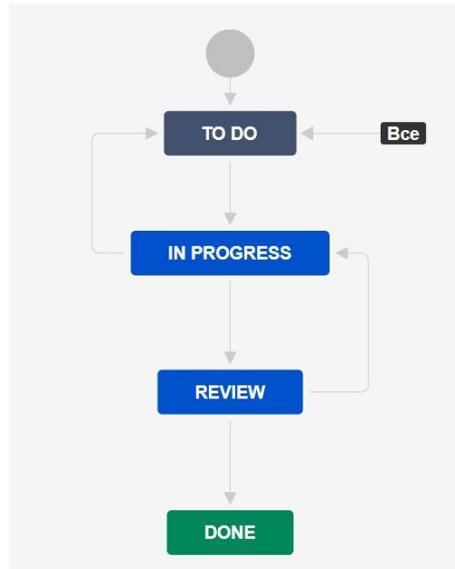


Рисунок 2 – Жизненный цикл процесса работы с задачами
Figure 2 – Life cycle of the task process

Таким образом, прежде чем применить методы нечеткой логики для управления сложностью курса, необходимо:

1. Разработать программу курса и набор актуальных, связанных между собой практических заданий.
2. Разделить практические задания курса на унитарные задачи.
3. Назначить каждой задаче число единиц сложности ЕСЗ.
4. Разработать план выполнения задач и критическую цепочку задач (например, в виде диаграммы Ганта), необходимых и достаточных для прохождения итоговой аттестации по курсу.

Такой подход позволит отслеживать текущую успеваемость, выдавать рекомендации по скорости и интенсивности практической работы по курсу, мотивировать на результат и планировать режим труда и отдыха для повышения продуктивности учебной работы.

Для динамического управления сложностью курса в виде траектории практического обучения, представленной последовательностью практических задач разного уровня сложности, нам предстоит решить задачу стабилизации. Поскольку в текущих условиях у нас не было возможностей собрать данные для использования методов машинного обучения, было принято решение применить аппарат нечеткой логики.

Также важно дополнить систему онлайн поддержки учебного процесса (LMS) панелью управления (BI Dashboard), где помимо диаграммы Ганта, на которой отображаются задачи траектории обучения, динамически меняющиеся в процессе освоения курса, также будут представлены профили учащихся, содержащие оперативные сведения, характеризующие качество образовательной деятельности, рекомендации и управляющие воздействия, такие как увеличение / уменьшение стипендии, возможность участия в стажировках и мегасайенс проектах, научных школах, летнем отдыхе, а также автоматические звонки родственникам, в случае наличия серьезных проблем учащегося с тайм-менеджментом, которые можно решить, только личным контролем соблюдения режима учебы, труда и отдыха. Главное назначение данной подсистемы – сформировать устойчивую и комфортную среду для продуктивной работы, чтобы учащиеся успели выполнить все задания к началу зачетной

недели. Обозначим это идеальным планом τ . Более того, данная система призвана повысить прозрачность учебного процесса, снизить нагрузку на преподавателя и развить у учащихся такие личностные качества, как целеустремленность, ответственность, самостоятельность, нацеленность на результат, способность принимать решения и управлять личным временем.

Очевидно, что идеальный план τ можно рассчитать по формуле:

$$y = -\frac{S}{(t_1 \div t_2)}x + S,$$

где S – это сумма ЕСЗ (единиц сложности) всех заданий, $(t_1 \div t_2)$ – количество дней, за которые необходимо выполнить задания. Траектория помогает оценивать текущий процесс и определять критические отклонения от идеального плана в любой момент времени. Отклонение от плана можно сократить, применив задачу стабилизации процесса (провести сравнительный анализ возможных решений и сформировать новую траекторию обучения).

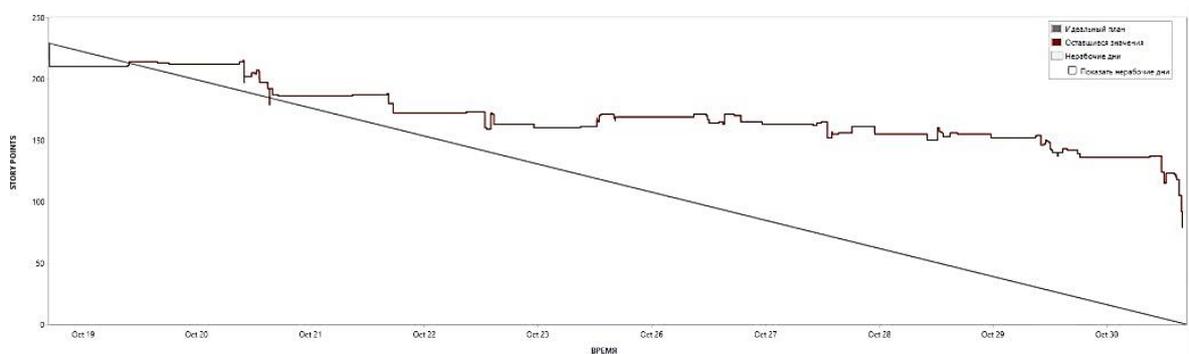


Рисунок 3 – Пример визуализации отчета выполнения задач
Figure 3 – Example of visualizing a task execution report

В качестве квадратичного функционала качества управления на конечном временном интервале $(t_1 \div t_2)$ предлагается использовать выражение $F(t_2)$:

$$F(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} C_0 [\Delta H(\tau)]^2 d\tau,$$

где τ – идеальный план (можно более детально сформулировать, как идеальный план сдачи и оценивания задач); $\Delta H(\tau)$ – отклонение от идеального плана; $C_0 > 0$ – коэффициент масштабирования. Так как в рамках решения задачи стабилизации процесса требуется минимизировать отклонение от идеальной траектории $R = (R_H, R_S)$, то задачу оптимального управления можно сформулировать в виде:

$$F(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} C_0 [\Delta H(\tau)]^2 d\tau \Rightarrow \min,$$

при $U \in U_{\text{доп}}, R \in R_{\text{доп}}$, где $U_{\text{доп}}$ и $R_{\text{доп}}$ – допустимые множества управляющих воздействий и технических решений, пространство R_H – аппаратных и R_S – программных средств.

В рамках постановки задачи стабилизации были формализованы нечеткие переменные *Low*, *Medium*, *High* для следующих нечетких понятий с треугольными функциями принадлежности (Рисунок 4):

- суммарное количество (*CT*) невыполненных задач;

- остаток времени до завершения курса;
- сложность курса.

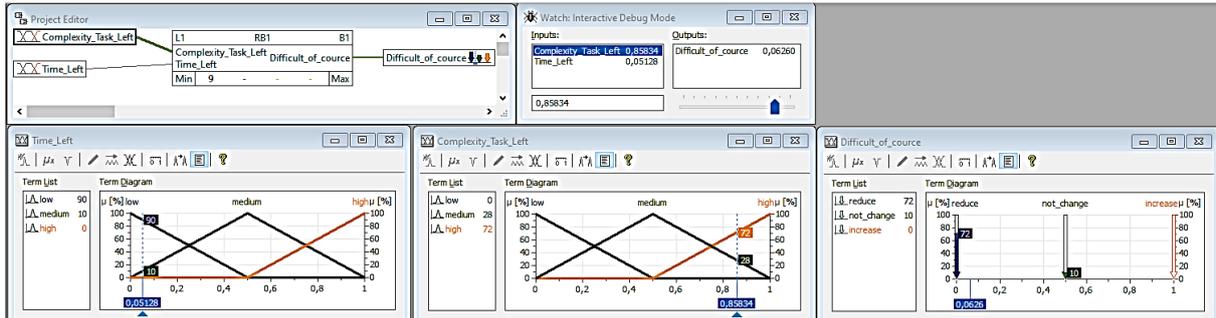


Рисунок 4 – Формализованные нечеткие понятия
Figure 4 – Formalized fuzzy concepts

Например, неточное определение «До конца курса осталось много дней» имеет следующий вид множества:

$$C = \{0/0.50; 10/0; 20/0.60; 40/0.70; 60/0.80; 80/0.90; 100/1\},$$

Где, если курс длится 80 дней, а прошло 16 дней, то 64 дня принадлежат к множеству «До конца курса осталось много дней» со степенью принадлежности 60.

Также была составлена база правил, являющаяся основой для проведения операции нечеткого логического вывода (Рисунок 5).

		Complexity_Task_Left		
		low	medium	high
Time_Left	low	not_change	reduce	reduce
	medium	increase	not_change	reduce
	high	increase	not_change	not_change

Рисунок 5 – База правил для нечеткого логического вывода
Figure 5 – Rule base for fuzzy inference

В итоге получилась нечеткая модель, позволяющая индивидуально управлять сложностью учебного курса для каждого учащегося, что позволит достаточно просто формализовать процесс выдачи заданий и обратной связи с учащимися, стимулируя каждого из них работать на пределе умственных и физиологических возможностей. Это должно способствовать не только улучшению остаточных знаний и умений, но и оптимизировать продолжительность курса, что важно для модульного подхода к формированию образовательных программ, основной задачей которого является расширение количества учебных курсов, осваиваемых по выбору. Внедрение подобных моделей и систем управления в учебный процесс призвано сократить нагрузку на преподавателей и выделить им больше времени для научной и творческой работы.

Возрастающая роль адаптивных траекторий в условиях применения концепции микрообучения на практике

Микрообучение – подход к обучению, который предоставляет информацию небольшими, целенаправленными порциями. Это один из способов быстро найти ответы на конкретные вопросы, при этом учебный материал подается небольшими порциями. Каждый раздел курса имеет конкретную цель, которая достигается последовательным решением набора практических задач, где выполнение любой из них не должно занимать много времени. Тем не менее не должно быть каких-либо временных ограничений, главное, чтобы учебный материал хорошо запоминался и в дальнейшем мог бы использоваться как напоминание.

Учебные курсы, ориентированные на микрообучение, могут включать конспекты, полезные заметки, видеоуроки, аудио подкасты, презентации, практические задания, игры и тесты, предназначенные для доступа в момент необходимости, преимущественно с использованием смартфонов или планшетов. Основной особенностью учебного контента для микрообучения является отсутствие деталей, что способствует скорости запоминания материала, с ориентацией на остаточные новые знания, которые базируются на уже имеющемся опыте учащегося, поэтому такой формат обучения используется для повышения квалификации и, как правило, он не предназначен для обучения базовым и широким фундаментальным знаниям, поэтому не каждый курс возможно преобразовать в формат микрообучения. Также микрообучение предполагает, что каждый учащийся достаточно мотивирован, чтобы завершить обучение. Это может показаться простым, но часто это не так. Завершение даже самого короткого урока может представлять собой проблему, если он охватывает знания или темы, которые выходят за рамки текущего набора компетенций учащегося. Но, с другой стороны, учащиеся «миллениалы» и «поколение Z» предпочитают сжатое, адаптированное к их потребностям обучение, неформальное по стилю и доступное по запросу, с легко потребляемым контентом в клиповом формате. В целом, это должно помогать поддерживать культуру обучения и повышать его общую продуктивность, зачастую совмещая обучение с рабочей деятельностью.

Разделенный контент в условиях микрообучения должен быть объединен с остальным учебным контентом, чтобы создать полный курс, поэтому особую важность приобретает автоматизированное формирование индивидуальной траектории обучения.

Индивидуальная траектория обучения объединяет микрообучение со специализированными учебными курсами, ориентированными на формирование сложных профессиональных компетенций несмотря на то, что решаются разные задачи, в первом случае обеспечение массового охвата с сохранением приемлемого качества обучения, во втором – сложность онтологической модели тем курса, для поддержания заданной глубины получаемых компетенций.

В данной статье мы рассмотрели концепцию микрообучения, чтобы еще раз показать актуальность и инвариантность предлагаемой модели формирования индивидуальной траектории обучения, особенно с учетом того, что преподавателю сложно отслеживать динамику образовательного процесса каждого учащегося и его текущее состояние в условиях высокой гранулярности разделов курса, большого числа относительно простых задач, отсутствия временных регламентов и значительного количества учащихся.

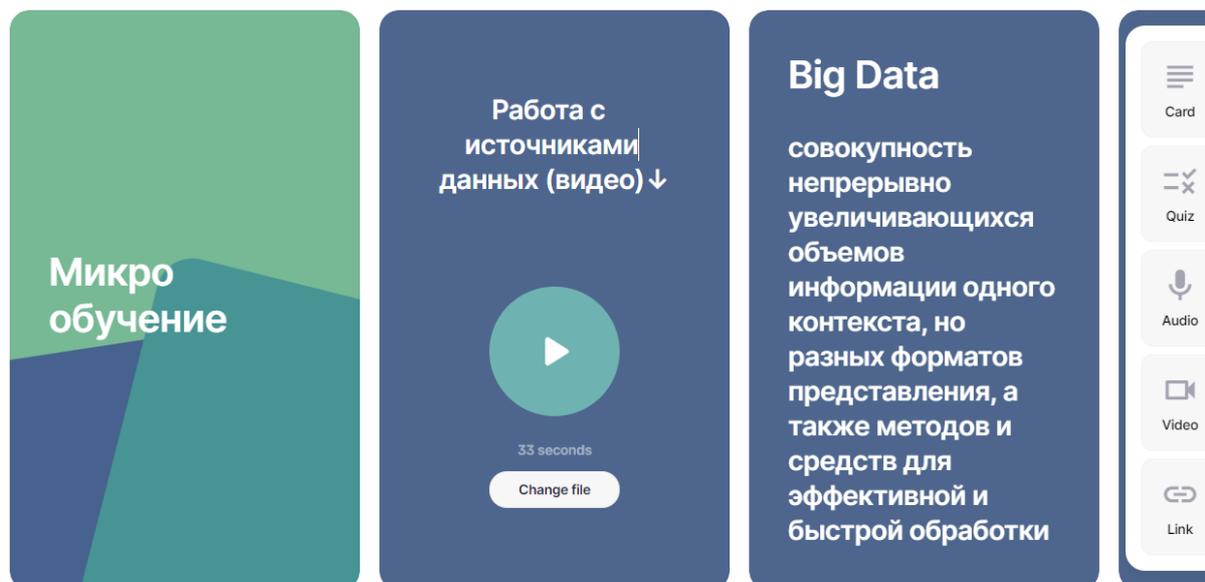


Рисунок 6 – Пример представления учебного материала в формате микрообучения
Figure 6 – Example of training material presentation in the format of micro-learning

Анализ влияния адаптивных траекторий на формирование адаптивного мышления учащихся

С одной стороны, существуют мнения, что адаптивные алгоритмы предоставления материала и практических заданий в рамках учебного курса приведут к его упрощению и ухудшению остаточных знаний, но с другой стороны, адаптивность является важным бизнес-навыком, который необходим для качественных изменений и получения лучших результатов, поскольку в современном мире каждый день перед ИТ-специалистами ставится множество различных задач.

В условиях ИТ-образования, адаптивность или адаптивное мышление включает в себя способность ориентироваться в неожиданных ситуациях, быстро учитывать различные варианты реакций и выбирать лучший из возможных вариантов за минимальное время, что фактически позволяет достигать успеха в любой области деятельности, поэтому информационные технологии и системный анализ не являются исключением.

Адаптивное мышление – это качество, присущее каждому человеку, но развито у всех по-разному. Согласно теории интеллектуального развития Жана Пиаже существует два вида психологической адаптации: ассимиляция и аккомодация. Оба процесса являются способами приспособления к ситуации. Различие лишь в том, что при ассимиляции учащийся встраивается в новую ситуацию без изменений, а при аккомодации ему приходится менять свои привычные действия, в том числе модель мышления, а порой и модель оценки ситуации.

В то же время, способность к адекватному мышлению индивидуальна и зависит от ряда особенностей. В первую очередь, это скорость реакции. Человек с быстрой реакцией почти всегда находится в динамике и готов реагировать на быстро меняющиеся обстоятельства. Не меньшую роль играет способность к анализу и оценке ситуации, а также умение задавать правильные вопросы «Что, если...?» Другими словами, человек должен принимать как данность то, что кажется ему очевидным, а не только то, о чем он думает на самом деле.

Адаптивные стратегии поведения – это те личные стратегии, которые мы выбираем, чтобы преуспеть в текущей жизни. Это способности, которые позволяют нам

регулировать (изменять) наше поведение с учетом актуальных обстоятельств и стиля нашей жизни. Однако, для её реализации потребуется открытость, рвение и отсутствие предвзятых мнений и суждений при вхождении в предметную область, мотивация непрерывного исследования и изучения нового. Особую роль играет наличие позитивного и дивергентного мышления. Суть позитивного мышления заключается в том, что учащийся старается находить плюсы в любой ситуации, как бы мысленно перекраивая её в благоприятную для себя, анализируя полученный опыт для того, чтобы в следующий раз сделать по-другому. Развитие дивергентного мышления позволяет находить множественные и нестандартные решения, выводить себя из привычных и стандартных шаблонов для расширения кругозора, в отличие от конвергентного, ориентированного на поиск единственного верного решения.

Однако, наш опыт использования Виртуальной Компьютерной Лаборатории в учебном процессе показывает, что при формировании и поддержании адаптивной модели поведения в позитивном ключе, учащиеся сталкиваются с различными проблемами и ограничениями, для преодоления которых необходимо руководствоваться следующими правилами:

- всегда искать пользу и возможности избегать или уменьшать издержки и ущерб для себя и окружающих;
- в процессе самосовершенствования находить дополнительные причины для продолжения деятельности, например, получение морального самодовольствия или развитие личной доминантности.
- иметь запасные (альтернативные) варианты действий на случай возникновения кризисных ситуаций.

Именно развитое адаптивное поведение позволяет выпускникам чувствовать себя хорошо и уверенно даже в условиях сложной кризисной ситуации.

Заключение

Разработанный подход к управлению учебным процессом является частью методологии подготовки специалистов по цифровой трансформации и инженеров больших данных в облачной среде учебного дата-центра «Виртуальная компьютерная Лаборатория», обеспечивая Государственному Университету «Дубна» и его выдающемуся Институту Системного Анализа уверенное лидерство в создании оптимальной и устойчивой образовательной среды, на основе применения самых современных методов и технологий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Grishko S., Belov M., Cheremisina E., Sychev P. Model for creating an adaptive individual learning path for training digital transformation professionals and big data engineers using Virtual Computer Lab. *Communications in Computer and Information Science*. 2021;1448:496–507. DOI: 10.1007/978-3-030-87034-8_36.
2. Белов М.А., Гришко С.И., Лишили М.В., Осипов П.А., Черемисина Е.Н. Стратегия подготовки ИТ-специалистов с применением инновационного учебного дата-центра "виртуальная компьютерная лаборатория" для эффективного решения задач цифровой трансформации и акселерации цифровой экономики. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2021;17(1):134–144. DOI: 10.25559/SITITO.17.202101.703.
3. Белов М.А., Гришко С.И., Черемисина Е.Н., Токарева Н.А. Подготовка ИТ-специалистов в условиях глобальной цифровой трансформации. Концепция автоматизированного управления профилями компетенций в образовательных

- программах будущего. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2021;17(3):658–669. DOI: 10.25559/SITITO.17.202103.658-669.
4. Cheremisina E.N., Belov M.A., Tokareva N.A., Nabiullin A.K., Grishko S.I., Sorokin A.V. Embedding of containerization technology in the core of the virtual computing lab. *CEUR Workshop Proceedings*. 26. Сер. "Selected Papers of the 26th International Symposium on Nuclear Electronics and Computing, NEC 2017". 2017;2023:299–302.
 5. Belov M., Grishko S., Cheremisina E., Tokareva N. Concept of peer-to-peer caching database for transaction history storage as an alternative to blockchain in digital economy. *CEUR Workshop Proceedings*. 9. Сер. "GRID 2021 – Proceedings of the 9th International Conference "Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education". 2021;3041:494–497.
 6. Cheremisina E., Tokareva N., Kirpicheva E., Kreider O., Milovidova A., Potemkina S. The concept of training IT professionals in the cross-cutting digital technologies. *CEUR Workshop Proceedings*. 9. Сер. "GRID 2021 – Proceedings of the 9th International Conference "Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education". 2021;3041:525–529.
 7. Миловидова А.А., Черемисина Е.Н., Добрынин В.Н. Алгоритм определения типа и параметров функции принадлежности нечёткого измерителя. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2019;9:69–74.
 8. Добрынин В.Н., Миловидова А.А., Соколов И.А. Оценка адекватности модели и объекта исследования. *Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием*. М.: Издательство РУДН; 2018:252–256.
 9. Митрошин П.А. Автоматизация процесса измерения уровня развития компетенций в компетентностно-ориентированной модели обучения. *Метрологическое обеспечение инновационных технологий. Международный форум*. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; 2020:204–205.
 10. Митрошин П.А. Модели и алгоритмы поддержки управления процессом обучения. *В сборнике: Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании. Материалы IV Международной научной конференции*. Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева; 2020:263–268.
 11. Белов М.А., Антипов О.Е. Контрольно-измерительная система оценки качества обучения в виртуальной компьютерной лаборатории, качество. *Наука. Инновации. Образование*. 2012;3:28–37.
 12. Черемисина Е.Н., Белов М.А., Антипов О.Е., Сорокин А.В. Инновационная практика компьютерного образования в университете "Дубна" с применением виртуальной компьютерной лаборатории на основе технологии облачных вычислений. *Программная инженерия*. 2012;5:34–41.
 13. Черемисина Е.Н., Крамаров Н.Л., Белов М.А. *Практический системный анализ. Построение моделей понятий в проектах повышения эффективности деятельности организаций. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений*. Дубна: Государственный Университет «Дубна»; 2012. 149 с.
 14. Черемисина Е.Н., Белов М.А., Лишилилин М.В. Интеграция виртуальной компьютерной лаборатории и знаниевого пространства – новый взгляд на подготовку высококвалифицированных ИТ-специалистов. *Системный анализ в науке и образовании*. 2014;1(23):97–104.

15. Сидоров Д.С., Белов М.А. Проектирование аппаратно-программных комплексов в учебном процессе с применением виртуальной компьютерной лаборатории. *Системный анализ в науке и образовании*. 2020;2:70–82.

REFERENCES

1. Grishko S., Belov M., Cheremisina E., Sychev P. Model for creating an adaptive individual learning path for training digital transformation professionals and big data engineers using Virtual Computer Lab. *Communications in Computer and Information Science*. 2021;1448:496–507. DOI: 10.1007/978-3-030-87034-8_36.
2. Belov M.A., Grishko S.I., Lishilin M.V., Osipov PA, Cheremisina E.N. Strategy for training IT specialists using the innovative training data center "virtual computer laboratory" to effectively solve the problems of digital transformation and acceleration of the digital economy. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie = Modern information technology and IT education*. 2021;17(1):134–144. DOI: 10.25559/SITITO.17.202101.703. (In Russ.).
3. Belov M.A., Grishko S.I., Cheremisina E.N., Tokareva N.A. Training IT specialists in a global digital transformation. The concept of automated management of competency profiles in educational programs of the future. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie = Modern information technology and IT education*. 2021;17(3):658–669. DOI: 10.25559/SITITO.17.202103.658-669. (In Russ.).
4. Cheremisina E.N., Belov M.A., Tokareva N.A., Nabiullin A.K., Grishko S.I., Sorokin A.V. Embedding of containerization technology in the core of the virtual computing lab. *CEUR Workshop Proceedings*. 26. Сер. "Selected Papers of the 26th International Symposium on Nuclear Electronics and Computing, NEC 2017". 2017;2023:299–302.
5. Belov M., Grishko S., Cheremisina E., Tokareva N. Concept of peer-to-peer caching database for transaction history storage as an alternative to blockchain in digital economy. *CEUR Workshop Proceedings*. 9. Сер. "GRID 2021 – Proceedings of the 9th International Conference "Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education". 2021;3041:494–497.
6. Cheremisina E., Tokareva N., Kirpicheva E., Kreider O., Milovidova A., Potemkina S. The concept of training IT professionals in the cross-cutting digital technologies. *CEUR Workshop Proceedings*. 9. Сер. "GRID 2021 – Proceedings of the 9th International Conference "Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education". 2021;3041:525–529.
7. Milovidova A.A., Cheremisina E.N., Dobrynin V.N. Algorithm for determining the type and parameters of the function of belonging to an odd meter. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Modern science: current problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences*. 2019;9:69–74. (In Russ.).
8. Dobrynin V.N., Milovidova A.A., Sokolov I.A. Assessment of the adequacy of the model and the study object. *Information and telecommunication technologies and mathematical modeling of high-tech systems. Materials of the All-Russian Conference with international participation*. Moscow, RUDN Publishing House; 2018:252–256. (In Russ.).
9. Mitroshin P.A. Automation of the process of measuring the level of development of competencies in a competence-oriented training model. *Metrological support of innovative technologies. International Forum*. St. Petersburg, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; 2020:204–205. (In Russ.).
10. Mitroshin P.A. Models and algorithms to support the management of the learning process. *In the collection: Informatization of education and the methodology of e-learning: digital*

- technologies in education. Proceedings of the IV International Scientific Conference. Krasnoyarsk, V.P. Astafiev Krasnoyarsk State Pedagogical University; 2020:263–268. (In Russ.).*
11. Belov M.A., Antipov O.E. Control and measurement system for assessing the quality of training in a virtual computer laboratory, quality. *Nauka. Innovatsii. Obrazovanie = Science. Innovation. Education.* 2012;3:28–37. (In Russ.).
 12. Cheremisina E.N., Belov M.A., Antipov O.E., Sorokin A.V. Innovative practice of computer education at Dubna University using a virtual computer laboratory based on cloud computing technology. *Programmnyaya inzheneriya = Software engineering.* 2012;5:34–41. (In Russ.).
 13. Cheremisina E.N., Kramarov N.L., Belov M.A. Practical system analysis. Building models of concepts in projects to improve the efficiency of organizations. A textbook for students of higher education institutions. Dubna, State University "Dubna"; 2012. 149 p. (In Russ.).
 14. Cheremisina E.N., Belov M.A., Lishilin M.V. Integration of a virtual computer laboratory and a knowledge space is a new look at the training of highly qualified IT specialists. *Sistemnyi analiz v nauke i obrazovanii = Systems analysis in science and education.* 2014;1(23):97–104. (In Russ.).
 15. Sidorov D.S., Belov M.A. Design of hardware and software systems in the educational process with the use of a virtual computer laboratory. *Sistemnyi analiz v nauke i obrazovanii = Systems analysis in science and education.* 2020;2:70–82. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Белов Михаил Александрович, кандидат технических наук, доцент Государственного университета «Дубна», Дубна, Российская Федерация.

e-mail: belov@uni-dubna.ru

ORCID: [0000-0003-0678-3344](https://orcid.org/0000-0003-0678-3344)

Mikhail Aleksandrovich Belov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Dubna State University, Dubna, Russian Federation.

Гришко Станислав Иванович, ассистент, Государственный университет «Дубна», Дубна, Российская Федерация.

ORCID: [0000-0002-0185-1400](https://orcid.org/0000-0002-0185-1400)

Stanislav Ivanovich Grishko, Assistant Lecturer at Dubna State University, Dubna, Russian Federation.

Живетьев Александр Викторович, ассистент, Государственный университет «Дубна», Дубна, Российская Федерация.

ORCID: [0000-0002-8202-6428](https://orcid.org/0000-0002-8202-6428)

Aleksandr Viktorovich Zhivetyev, Assistant Lecturer at Dubna State University, Dubna, Russian Federation.

Подгорный Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор Государственного университета «Дубна», Дубна, Российская Федерация.

e-mail: saptich@rambler.ru

ORCID: [0000-0001-6842-270X](https://orcid.org/0000-0001-6842-270X)

Sergey Aleksandrovich Podgorny, Doctor of Technical Sciences, Professor at Dubna State University, Dubna, Russian Federation.

Токарева Надежда Александровна, кандидат физико-математических наук, доцент Государственного университета «Дубна», Дубна, Российская Федерация.

e-mail: tokareva@uni-dubna.ru

ORCID: [0000-0002-0798-2276](https://orcid.org/0000-0002-0798-2276)

Nadezhda Aleksandrovna Tokareva, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at Dubna State University, Dubna, Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 24.11.2022; одобрена после рецензирования 03.12.2022;
принята к публикации 27.12.2022.*

*The article was submitted 24.11.2022; approved after reviewing 03.12.2022;
accepted for publication 27.12.2022.*