

УДК 378, 004.5

ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДОСТИЖЕНИЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

А.В. Лямин^а

^а Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация
Адрес для переписки: lyamin@mail.ifmo.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 23.02.18, принята к печати 30.03.18

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-543-553

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Лямин А.В. Формирование индивидуальных траекторий обучения на основе анализа достижений и функционального состояния обучающегося // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 3. С. 543–553. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-543-553

Аннотация

Предмет исследования. Проанализированы современные стандарты описания компетенций и результатов обучения. Разработана модель образовательной программы, позволяющая построить корректную образовательную программу на основе анализа пререквизитов и результатов обучения программы и ее составных частей. Определена концепция построения электронной информационно-образовательной среды нового поколения, предоставляющей возможность автоматического построения индивидуальных траекторий обучения на основе анализа достижений, пожеланий и особенностей обучающихся. **Метод.** Для построения корректной образовательной программы определены основные правила формирования такой программы, на основе которых путем анализа пререквизитов и плановых результатов обучения, достижений, пожеланий и функционального состояния обучающегося становится возможным формирование его индивидуальной траектории обучения по программе. **Основные результаты.** Проведен анализ существующих стандартов в области образования, разработаны модели и правила формирования наборов обучающих модулей, используемых для формирования образовательных траекторий, разработаны модели учета достижений обучающихся при формировании траекторий, разработан метод анализа функционального состояния обучающегося с целью создания адаптивной обучающей среды. **Практическая значимость.** Формирование индивидуальных траекторий обучения с учетом достижений и функционального состояния обучающегося позволяет в автоматическом режиме построить образовательный процесс, подходящий каждому конкретному обучающемуся, и удовлетворяющий требованиям образовательной программы.

Ключевые слова

индивидуальные образовательные траектории, информационные системы, онлайн-обучение, системы управления обучением, функциональное состояние

CREATION OF INDIVIDUAL LEARNING TRAJECTORIES BASED ON STUDENT'S ACHIEVEMENTS AND FUNCTIONAL STATE ANALYSIS

A.V. Lyamin^а

^а ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: lyamin@mail.ifmo.ru

Article info

Received 23.02.18, accepted 30.03.18

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-543-553

Article in Russian

For citation: Lyamin A.V. Creation of individual learning trajectories based on student's achievements and functional state analysis. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 543–553 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-543-553

Abstract

Subject of Study. Modern standards specifying competencies and learning outcomes have been analyzed. The model of an educational program has been developed providing building a correct educational program based on the prerequisites and planned outcomes analysis. A creation concept has been specified for a learning management system of new generation that allows forming individual learning trajectories based on analysis of student's achievements, wishes and peculiarities. **Method.** The rules of creating a correct educational program were defined, which, together with prerequisites, planned outcomes, achievements, wishes and functional state analysis, lead to automatic individual trajectory analysis. **Main Results.** The analysis of modern educational standards has been performed; models and rules of forming educational module sets used

for learning trajectory creation have been developed; models that analyze students' achievements during the learning trajectory formation have been developed; method of student's functional state analysis has been developed aimed at creating adaptive educational environment. **Practical Relevance.** Forming individual learning trajectories based on student's achievements and functional state analysis provides the possibility to build educational process automatically that will be suitable for a specific student and satisfy the requirements of the educational program.

Keywords

individual learning trajectories, information systems, e-learning, learning management systems, functional state

Введение

С развитием образования стало возможным использование большого числа новых инновационных образовательных технологий и средств, позволяющих обучающимся формировать теоретические и практические навыки с целью становления в будущем востребованными специалистами. Одной из таких технологий являются онлайн-курсы [1–3], позволяющие обучающимся за короткий промежуток времени освоить определенные разделы из заданной предметной области с получением подтвержденного документа об освоении данного материала. В высших учебных заведениях распространена практика разработки и внедрения электронных информационно-образовательных сред [4–6], предоставляющих возможность автоматизации процессов обучения. В частности, существует множество вариантов заданий для оценки навыков, формируемых обучающимися в ходе учебного процесса [4, 6, 7]. Для формирования и оценивания практических навыков обучающихся в разных областях знаний в электронных информационно-образовательных средах используются компьютерные симуляторы, виртуальные лаборатории и тренажеры [8–10], позволяющие моделировать объекты реального мира [8] или же предоставлять обучающимся удаленный доступ к оборудованию [9]. Разнообразие оценочных средств и методов подачи обучающего материала позволяет создавать курсы с определенными пререквизитами и результатами обучения, что способствует развитию актуальной в современном образовании темы формирования индивидуальных траекторий обучения [11, 12].

Индивидуальные траектории обучения позволяют построить образовательный процесс, адаптированный под конкретного обучающегося и учитывающий его текущие достижения, пожелания и потребности. Построение индивидуальных траекторий является нетривиальной задачей в связи с необходимостью многопараметрического анализа, учитывающего пререквизиты и результаты обучения образовательной программы, курса, текущие знания и индивидуальные особенности обучающегося. С учетом глобализации образования и постоянно растущим увеличением числа источников необходимых сведений важно учитывать функциональное состояние обучающегося [13, 14] в ходе образовательного процесса. Таким образом, станет возможным построение электронной информационно-образовательной среды нового поколения.

В представленном исследовании предлагается решение актуальной задачи формирования индивидуальных траекторий обучения. С целью решения поставленной задачи проводится анализ существующих стандартов электронного обучения, в том числе стандартов описания результатов обучения и достижений обучающихся, разрабатывается методика формирования индивидуальных траекторий с учетом достижений и особенностей обучающихся, описывается разработанный подход к построению электронной информационно-образовательной среды с многоканальной обратной связью, основанной на текущих результатах обучающегося и его функциональном состоянии.

Анализ существующих информационных стандартов

Существует множество информационных стандартов в сфере электронного обучения, позволяющих описать и структурировать результаты обучения и компетенции, фиксировать достигнутые обучающимися результаты обучения, хранить информацию об обучающихся и их достижениях, определять архитектуру образовательной среды. Сравнительный анализ образовательных стандартов позволит выявить их сходства и различия, определить основные направления развития стандартов и развития открытого образования в целом.

Integrating Learning Outcomes and Competences (InLOC). Европейский проект Integrating Learning Outcomes and Competences (InLOC) [15] описывает возможности контроля и обмена результатами обучения и компетенциями. Спецификация InLOC жестко устанавливает необходимость использования уникального идентификатора результата обучения и компетенции (LOC). Таким образом, в качестве основного преимущества данного стандарта можно выделить возможность использования одного и того же названия для нескольких результатов обучения и компетенций. Для расширения описания результатов обучения и компетенций к описанию добавляются метаданные, в том числе информация о создателе, версии и датах их изменения, а также:

- название и описание (может быть представлено на нескольких языках);
- информация об уровнях освоения и зачетных единицах;
- категория, к которой относится конкретный результат.

Большая часть результатов обучения представляется в виде определенной структуры, например, дерева. Спецификация описывает отношения между результатами обучения и правила их организации.

Информационная модель спецификации состоит из трех основных классов, расширяющих класс описания результатов обучения LOC:

1. LOCdefinition (Определение LOC), основное свойство которого – primaryStructure – описывает структуру LOC (LOCstructure) для рассматриваемого результата;
2. LOCstructure (Структура LOC), основное свойство которого – comprisesAssociation – описывает объект отношения (LOCassociation) для рассматриваемой структуры;
3. LOCassociation (Отношение LOC), основные свойства которого – type (тип отношения), hasSubject (субъект отношения или комбинированных атрибутов), hasScheme (определение схемы отношений), hasObject (объект отношения или комбинированных атрибутов), number (положительное число, описывающее уровни освоения и зачетные единицы).

Все представленные классы являются расширениями абстрактного класса LOC со следующими свойствами: id (идентификатор), language (язык описания), abbr (аббревиатура), created (дата создания), issued (дата выпуска), title (название), description (описание), rights (правила), validityStart/validityEnd (временной интервал валидности LOC), и т.д.

ISO/IEC 20006. Стандарт ISO/IEC 20006 был создан Международной организацией по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) и Международной электротехнической комиссией (International Electrotechnical Commission, IEC) и предназначается для тех, кто занимается разработкой и использованием систем управления человеческими ресурсами. Стандарт состоит из двух частей:

1. ISO/IEC 20006-1 – Информационные технологии для обучения, образования и тренинга. Информационная модель компетенций. Часть 1. Общая структура компетенции и информационная модель [16];
2. ISO/IEC 20006-2 – Информационные технологии для обучения, образования и тренинга. Информационная модель компетенций. Часть 2. Информационная модель уровня мастерства [17].

Стандарт ISO/IEC 20006 описывает:

- базовые основы работы с компетенциями с использованием обучающих информационных технологий;
- модель управления и обмена данными о компетенциях и связанных объектах;
- информационная модель описания компетенций и связанных объектов, которая включает принципы их композиции;
- примеры, используемые для разработки общей структуры, информационной модели компетенций.

В связи с тем, что компетенции могут быть использованы в нескольких информационных системах, становится необходимым определить их структуру и формы обмена ими между системами. С этой целью были разработаны промышленные стандарты HR-XML, RDCEO, RDC, позволяющие осуществлять управление и передачу идентификационных данных компетенций. Однако для полного понимания компетентностной модели должно быть предоставлено больше информации. Вследствие этого в двух частях рассматриваемого стандарта описывается семантическая информационная модель и модель уровней освоения. Семантическая информационная модель состоит из двух основных блоков и таких параметров, как идентификатор, описание и название:

1. Смысловая информация о компетенции
 - Основной блок
 - Блок сценария
2. Ситуационная информация о компетенции
 - Связанные компетенции
 - Уровень
 - Расположение
 - Критерий

Модель уровней освоения компетенций представляет описания семантики формирования компетенций, приводятся примеры, которые позволяют создать данную информационную модель. С этой целью определяются три основные структуры данных:

- модель описания компонентов квалификации;
- информационная модель описания показателей оценивания квалификации;
- информационная модель описания отдельных уровней и показателей оценивания квалификации.

Стандарт ISO/IEC 20006 предоставляет специфическую информацию о компетенциях и итоговых результатах освоения материала. Стандарт учитывает не конкретные результаты обучения по курсу или образовательной программе, а квалификационный уровень освоения человеком материалов.

IEEE 1484.20.1. Группа стандартов IEEE 1484, созданная консорциумом IEEE, описывает правила и спецификации технологий электронного обучения. Стандарт 1484.20.1-2007 – стандарт описания обучающих технологий, включая модель данных многократно используемых определений компетенций [18].

Данный стандарт описывает способы представления ключевых характеристик компетенций без связи с контекстом их использования и обеспечивает интероперабельность обучающих информационных систем, путем предоставления ссылок на базовые понятия и определения. Стандарт IEEE 1484.20.1 предоставляет возможность кодирования и распространения информации о компетенциях, однако не позволяет различать различные типы компетенций – знания, умения, навыки или результаты обучения.

Описание компетенции в рассматриваемом стандарте характеризуется следующими свойствами:

- identifier (идентификатор);
- title (название);
- description (описание);
- definition (определение);
- model_source (исходная модель);
- statement (определение):
 - statement_id (идентификатор);
 - statement_name (название);
 - statement_text (описание);
 - statement_token (тип определения с полями ‘source’ и ‘value’);
- metadata (метаданные):
 - rcd_schema (схема, описывающая rcd);
 - rcd_schema_version (версия схемы);
 - additional_metadata (дополнительные метаданные).

Результаты сравнительного анализа. Путем сравнительного анализа были рассмотрены наиболее распространенные образовательные стандарты, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками. В таблице представлены результаты сравнительного анализа.

<i>Стандарт</i>	<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>
Integrating Learning Outcomes and Competences (InLOC)	Определения просты в использовании и предоставляют всю необходимую информацию о компетенциях и результатах обучения и соответствующих им отношениях	Данные могут быть повреждены
ISO/IEC 20006	Предоставляет точную информацию о компетенциях, их структурных уровнях и уровнях освоения компетенций	Стандарт не учитывает отдельные результаты обучения, а описывает уровни освоения материала. Данные могут быть повреждены
IEEE 1484.20.1	Описывает определение компетенции, которое может быть многократно использовано в нескольких системах	Стандарт не предоставляет информации о категории, к которой относится компетенция, т.е. навык, знание или умение. Данные могут быть повреждены

Таблица. Результаты сравнительного анализа стандартов

Все представленные стандарты описывают компетенции с разной степенью детализации сведений и включают определения компетенций и связи между ними. Таким образом, можно определить наиболее важные позиции.

- Информационная модель описания компетенций и результатов обучения является иерархической и может быть представлена в виде множества деревьев, где вершины – это результаты обучения, а ребра – отношения между ними.
- Компетенции и результаты обучения характеризуются идентификатором, названием, описанием и действием (представляется глаголом действия), а также объектом, на который воздействует действие, зачетные единицы, уровень освоения, предметная область и пререквизиты.

Однако представленное описание не определяет правила установки отношений между результатами обучения, что может привести к избыточности данных и к неправильному определению последовательности результатов обучения, к примеру – появлению цикла, что может повредить данные и сделать модель некорректной. Таким образом, необходимо контролировать целостность сформированной информационной модели.

Структура образовательной программы

В данном разделе приведено описание структуры образовательной программы, используемой в системе управления обучением AcademicNT [4–7, 13]. Система AcademicNT была разработана в Университете ИТМО в 1999 г. и с каждым годом существенно развивается и расширяется. На текущий момент эта система используется в нескольких российских высших учебных заведениях. Структура образовательной программы, используемая в AcademicNT, представлена на рис. 1.

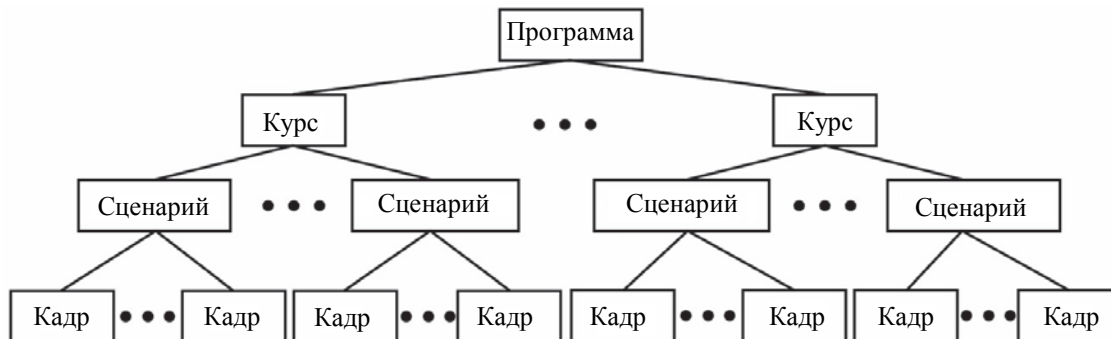


Рис. 1. Структура образовательной программы

Главным узлом структуры образовательной программы является рабочая программа дисциплины, которая может состоять из нескольких курсов, каждый из которых обеспечивает формирование своих собственных результатов обучения, способствующих формированию компетенций образовательной программы. Курс представляется набором сценариев, каждый из которых отвечает за представление обучающего материала в удобной форме, и характеризуется состояниями, которые обеспечивают доступ к определенным типам учебной активности в конкретные моменты времени, например, «Обучение», «Аттестация», «Рассмотрение», «Оценивание». Сценарий определяет порядок взаимодействия обучающегося с электронной информационно-образовательной средой. Он содержит последовательность обучающих и аттестующих материалов, включая описание временных ограничений и показателей оценивания. В частности, сценарий определяет реакции системы на ответы обучающихся, возможность пропуска задания и необходимость показывать обучающимся правильные ответы. Сценарии состоят из кадров, которые могут отображать определенные страницы конспектов, вопросы электронных тестов, контейнеры виртуальных лабораторий. Каждый кадр имеет свои настройки, обладающие более высоким приоритетом по сравнению с настройками сценария. Оценивание результатов аттестующих мероприятий персонализировано в соответствии с разными уровнями сложности, для чего используется взвешенное оценивание результатов.

Математическая формализация структуры образовательной программы представляется в виде модели, основанной на базовых принципах построения программы:

- результаты обучения и компетенции программы и электронных курсов;
- пререквизиты и плановые результаты обучения электронных курсов;
- пререквизиты и результаты обучения отдельных учебных модулей электронных курсов.

Обозначим набор результатов обучения и компетенций (LOC) как V , который определяется как $V = \{LOC_i : i \in I_{LOC} \subset \mathbb{N}\}$, $|I_{LOC}| = q$, где I_{LOC} – множество идентификаторов результатов обучения, принадлежащих к натуральным числам (\mathbb{N}); q – размер множества идентификаторов. На множестве V определим отношение часть-целое W :

$$W = \{(LOC_i, LOC_j) : LOC_i, LOC_j \in V, W(i, j)\}.$$

В силу того, что необходимо контролировать целостность сформированной модели так, чтобы отношения между компетенциями могли быть однозначно определены, необходимо описать правила для предотвращения повреждения данных. Отношение W должно удовлетворять следующим свойствам:

- антирефлексивность (нет отношения LOC_i к самому себе)

$$\forall i \neg W(i, i)$$
- асимметричность (отсутствие парных отношений)

$$\forall i \forall j W(i, j) \rightarrow \neg W(j, i)$$
- антитранзитивность (при последовательном переходе по результатам обучения отсутствуют круговые ссылки)

$$\forall i \forall j \forall k W(i, j) \wedge W(j, k) \rightarrow \neg W(i, k)$$
- ацикличность – транзитивное замыкание W^+ должно быть антирефлексивно.

Каждый j -й LOC ($\forall i \rightarrow W(i, j)$) соответствует конкретной латентной характеристике обучающегося. Таким образом, результаты аттестующих мероприятий будут независимыми переменными (X_i, X_j – результаты i -го и j -го аттестующих мероприятий), т.е. общая вероятность (P) получения результатов двух испытаний будет определяться как произведение вероятностей получения каждого из результатов:

$$P(X_i < x', X_j < x'') = P(X_i < x')P(X_j < x'').$$

Каждая образовательная программа нацелена на формирование определенных компетенций и результатов обучения и основывается на временном ограничении $\tau_0 > 0$, таким образом, могут быть определены пререквизиты $V^b \subset V$ и плановые результаты обучения $V^f \subset V$. Целесообразность образовательной программы определяется как

$$(\forall LOC_i \in V^f)(\forall LOC_j \in V^b)((LOC_i, LOC_j) \notin W^+ \vee i \neq j).$$

Каждая образовательная программа ассоциирована с кортежем $\langle V^b, V^f, \tau_0 \rangle$. Далее становится возможным представить математическую модель электронного курса $LC_r \in C = \{LC_i : i \in I_{LC} \subset N\}$, принадлежащего множеству курсов C , состоящего из обучающих и оценивающих материалов и ассоциированного с кортежем $LC_r = \langle V_r^b, V_r^f, \tau_r \rangle$. И пререквизиты, и результаты обучения курса должны быть уникальны. Таким образом, можно определить целесообразность электронного курса:

$$(\forall LOC_i \in V_r^f)(\forall LOC_j \in V_r^b);$$

$$((LOC_i, LOC_j) \notin W^+ \vee i \neq j).$$

Множество курсов $\{LC_{j_1}, LC_{j_2}, \dots, LC_{j_p}\}, j_k \in I_{LC}, k = 1, 2, \dots, p$, относящихся к образовательной программе, должно удовлетворять следующим условиям:

– эффективность множества курсов

$$\tau_0 \geq \sum_{s=1}^p \tau_{j_s};$$

– результативность множества курсов

$$(\forall LOC_i \in V^f) \left(\exists LOC_j \in \bigcup_{s=1}^p V_{j_s}^f \right) (i = j);$$

– обоснованность пререквизитов курсов

$$\left(\forall LOC_i \in \bigcup_{s=1}^p V_{j_s}^b \right) \left(\exists LOC_j \in V^b \cup \left(\bigcup_{s=1}^p V_{j_s}^f \right) \right) (i = j);$$

– востребованность результатов обучения курсов

$$\left(\forall LOC_i \in \bigcup_{s=1}^p V_{j_s}^f \right) \left(\exists LOC_j \in V^f \cup \left(\bigcup_{s=1}^p V_{j_s}^b \right) \right) (i = j);$$

– уникальность результатов обучения множества курсов

$$\bigcap_{s=1}^p V_{j_s}^f = \emptyset;$$

– ацикличность множества курсов (антирефлексивность всех композиций отношений)

$$RF_{j_k} = V_{j_k}^b \times V_{j_k}^f, j_k \in I_{LC}, k = 1, 2, \dots, p.$$

Курс может состоять из нескольких модулей, каждый из которых включает в себя коллекцию обучающих и оценивающих материалов, соотносимых с определенными результатами обучения. Таким образом, модуль $LU_r \in M = \{LU_i : i \in I_{LU} \subset N\}$ ассоциируется с кортежем $LU_r = \langle V_r^b, l_r, \tau_r \rangle$, где V_r^b – это множество пререквизитов модуля (требуемых знаний и навыков обучающихся), l_r – идентификатор результата обучения, $LOC_{l_r} \in V, \tau_r > 0$ – общая трудоемкость обучающего модуля. Пререквизиты модуля должны быть уникальны, и, следовательно, целесообразность обучающего модуля определяется как

$$(\forall LOC_j \in V_r^b)((LOC_{l_r}, LOC_j) \notin W^+ \vee l_r \neq j).$$

Компетенция обучающегося L характеризуется множеством $LA = \{\theta_i : \theta_i \in R, i \in I_{LOC} \subset N\}$, где $\theta_i \in L$ – латентная переменная, соответствующая уровню освоения результата обучения LOC_i . Главной

целью реализации образовательной программы $\langle V^b, V^f, \tau_0 \rangle$ является построение образовательного процесса таким образом, что во время $t \leq \tau_0$ будут удовлетворены требования $\theta_i(t) \geq \theta_i^*, LOC_i \in V^f$, с условием выполнения начальных условий $\theta_i(0) \geq \theta_i^*, LOC_i \in V^b$, где θ_i^* – порог уровня освоения результата обучения $LOC_i \in V$. Таким образом, необходимо определить множество пороговых значений уровней освоения результата обучения $LA^* = \{\theta_i^* : \theta_i^* \in R, i \in I_{LOC} \subset N\}$ в дополнение к множеству V . Цели курсов, модулей и т.д. определяются аналогичным образом.

Программа считается корректной, если были выполнены все определенные к программе требования. Таким образом, представленная модель позволяет построить полностью корректную образовательную программу, для которой не возникнет ситуации повреждения данных.

Моделирование индивидуальной траектории обучения

На уровне модульной структуры образовательной программы моделирование индивидуальной траектории обучения предполагает формирование индивидуального плана обучения на основе множества обучающих курсов с использованием анализа:

- множества результатов обучения $V = \{LOC_i : i \in I_{LOC} \subset N\}$;
- множества пороговых значений уровней подготовки $LA^* = \{\theta_i^* : i \in I_{LOC} \subset N\}$;
- структуры результатов обучения $W = \{(LOC_i, LOC_j) : LOC_i, LOC_j \in V, W(i, j)\}$;
- текущего уровня подготовки обучающегося $LA = \{\theta_i : i \in I_{LOC} \subset N\}$;
- данных об образовательной программе $\langle V^b, V^f, \tau_0 \rangle$;
- множества доступных обучающих курсов $C = \{LC_i : i \in I_{LC} \subset N\}$.

При этом предполагается выполнение следующих действий:

- сформировать множество достигнутых результатов обучения $V^a = \{LOC_i : LOC_i \in V, \theta_i \geq \theta_i^*\}$;
- определить множества пререквизитов $U_0^b = V^b \cup V^a$ и результатов освоения программы $U_0^f = V^f \setminus V^a$;
- построить булеан $P(C)$ множества курсов C ;
- сформировать новое множество курсов C^* на основе булеана $P(C)$, которые удовлетворяют условиям результативности, эффективности, обоснованности пререквизитов, востребованности результатов обучения и их уникальности, ацикличности коллекции курсов по отношению к множествам пререквизитов U_0^b и результатов освоения U_0^f .

Множество \bar{C} содержит коллекции курсов, удовлетворяющих требованиям программы, что позволит выбрать любую коллекцию курсов для использования в рамках реализации образовательной программы. Для каждой коллекции курсов можно с помощью сетевого планирования построить индивидуальный план [19], где работы – курсы, а отношения представлены пререквизитами и результатами обучения. При этом сетевое планирование определяет путь, соответствующий сроку освоения программы. Таким образом, чтобы выбрать отдельную коллекцию, необходимо применить дополнительный критерий:

- минимальная трудоемкость программы;
- минимальный срок освоения программы;
- максимальный процент практических занятий;
- максимальный процент использования видеоматериалов;
- предпочитаемый коллектив авторов.

В электронной информационно-образовательной среде реализация программы для выбранной коллекции курсов не потребует построения индивидуального плана. Например, рассмотрим один из алгоритмов освоения программы для выбранной коллекции курсов

$$C_i^* = \{LC_{j_1}, LC_{j_2}, \dots, LC_{j_p}\} \in C^*, j_k \in I_{LC}, k = 1, 2, \dots, p, i = 0 :$$

1. обучающемуся предоставляется на выбор коллекция курсов

$$C_0 = \{LC_j : LC_j \in C_i^*, LC_j = \langle V_j^b, V_j^f, \tau_j \rangle, V_j^b \subseteq U_i^b\} ;$$

2. на основе своих предпочтений обучающийся изучает выбранный курс $LC_S \in C_0$;

3. после успешного освоения курса $LC_S \in C_0$ вычисляются множества

$$U_{i+1}^b = U_i^b \cup V_S^f, U_{i+1}^f = U_i^f \setminus V_S^f, C_{i+1}^* = C_i^* \setminus LC_S ;$$

4. если $C_{i+1}^* = \emptyset$, то обучение по программе завершается, в ином случае i увеличивается на единицу и осуществляется переход к первому шагу алгоритма.

При удовлетворении условий результативности, эффективности, обоснованности пререквизитов, востребованности результатов обучения и их уникальности, ацикличности коллекции курсов, алгоритм завершит выполнение за p шагов, и будут достигнуты все плановые результаты освоения программы $\langle V^b, V^f, \tau_0 \rangle$ за время τ_0 .

Рассмотрим пример использования разработанного алгоритма для реализации образовательной программы. Сформированная траектория представлена на рис. 2, индивидуальный план обучающегося для сформированной траектории отображен на рис. 3. Программа содержит пререквизиты $\{LOC_1, LOC_2\}$ и плановые результаты обучения $\{LOC_7, LOC_8, LOC_9\}$. Сформированная траектория обучения состоит из шести курсов $\{LC_1, LC_2, \dots, LC_6\}$, часть из которых может быть представлена онлайн-курсами, заменяющими обычные электронные курсы. В соответствии со сформированной траекторией результаты обучения LC_1 являются пререквизитами курса LC_4 , эти курсы проходятся последовательно. Курс LC_5 открывается для прохождения после завершения курсов LC_2 и LC_3 . Курс LC_6 в траектории является последним, становится доступным после завершения курсов LC_4 и LC_5 и обеспечивает результаты освоения программы обучающимся. С учетом последовательности прохождения курсов для освоения программы может быть выделено 3 семестра (T_1, T_2, T_3). В первом семестре одновременно проходятся три курса LC_1, LC_2 и LC_3 . Во втором семестре доступны курсы LC_4 и LC_5 . Курс LC_6 является завершающим по программе и проходится обучающимися в третьем семестре.

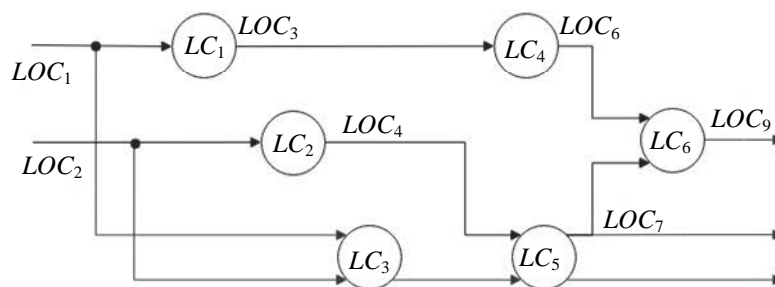


Рис. 2. Первая схема реализации программы

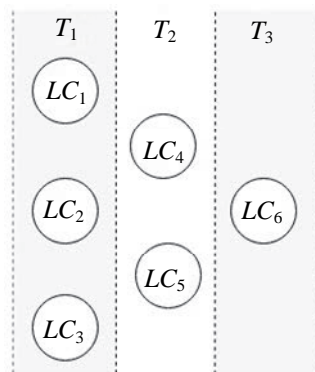


Рис. 3. Индивидуальный учебный план обучающегося для первой схемы реализации программы

Для указанных пререквизитов $\{LOC_1, LOC_2\}$ и результатов освоения программы $\{LOC_7, LOC_8, LOC_9\}$ может быть построена еще одна схема реализации программы с использованием другого множества, состоящего из семи курсов $\{LC_7, LC_8, \dots, LC_{13}\}$ (рис. 4). Индивидуальный план обучающегося для сформированной траектории отображен на рис. 5. В этом случае для освоения программы отводится четыре семестра (T_1, T_2, T_3, T_4). Первый семестр включает один курс LC_7 , результаты обучения по которому являются пререквизитами для курсов LC_8, LC_9 и LC_{10} , представленных во втором семестре. Третий семестр состоит из курсов LC_{11} и LC_{12} , доступных после завершения курсов LC_8 и LC_9 и формирующих два из трех результатов освоения программы – LOC_7 и LOC_9 . Курс LC_{13} , представлен-

ный в четвертом семестре, обеспечивает формирование финального результата освоения программы – LOC_8 .

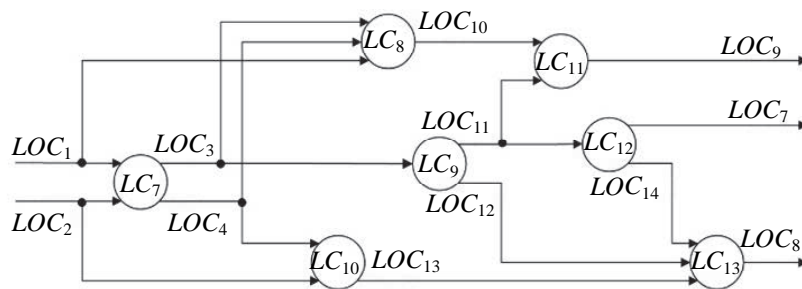


Рис. 4. Вторая схема реализации программы

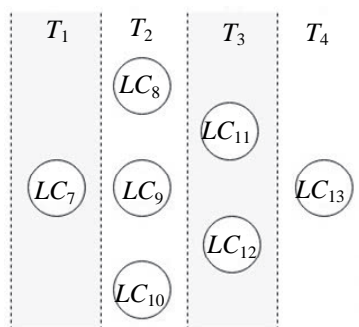


Рис. 5. Индивидуальный учебный план обучающегося для второй схемы реализации программы

Формирование индивидуальной траектории обучения на уровне отдельного электронного курса обеспечивается структурой курса, состоящего из множества сценариев. Алгоритм построения траектории с использованием сценариев основывается на формировании правил доступа к определенным обучающим и аттестующим сценариям в курсе на основе анализа достигнутых результатов обучения. Алгоритм предусматривает переход обучающегося к следующему сценарию после завершения предыдущих на основе правил переходов, определенных разработчиком программы.

Реализация многоканальной обратной связи

В процессе взаимодействия обучающегося с электронной информационно-образовательной средой формируется биотехническая система [20]. При этом обучающийся характеризуется скоростью восприятия, обработки, усвоения и забывания информации. На указанные характеристики влияют уровень подготовки обучающегося и его работоспособность, определяющаяся объемом целесообразной деятельности, интенсивностью данной деятельности, установленные критерии качества и уровень надежности. Снижение надежности может привести к увеличению числа ошибок, так что прогноз вероятности ошибок может решить задачу прогнозирования работоспособности. Одним из критериев надежности может считаться вероятность безошибочной работы в некотором интервале времени, а также среднее время безошибочной работы. При этом для прогнозирования умственной работоспособности следует различать разные периоды [21]:

- вработываемость (время формирования функциональной системы, ориентированной на достижение некоторого результата);
- оптимальная работоспособность (период времени совпадения уровня функционирования физиологических систем с умственной нагрузкой);
- полная компенсация (появление признаков утомления без снижения уровня работоспособности);
- неустойчивая компенсация (нарастающее накопление);
- прогрессивное снижение работоспособности.

Приведенные периоды умственной работы необходимо учитывать при распределении нагрузки в ходе образовательного процесса. Для этого необходимо адаптировать нагрузку в ходе прохождения обучения под текущее функциональное состояние обучающегося [22]. Активная деятельность ведет к перенапряжению регуляторных механизмов, а снижение умственной работоспособности влечет за собой их истощение. В эти моменты следует понизить уровень когнитивной нагрузки обучающегося. Для фиксации функционального состояния обучающегося применяют анализ электрической активности мозга, сердца, мышц и кожи человека, анализ активности сердца и движения глаз.

В ходе взаимодействия обучающегося с электронной информационно-образовательной средой анализ параметров биометрических сигналов η целесообразно проводить наравне с анализом психологических характеристик обучающегося и его результатов обучения $\theta = (\theta_{j_1}, \theta_{j_2}, \dots, \theta_{j_q})$, $j_k \in I_{LOC}, k = 1, 2, \dots, q$. Оценки достигнутых обучающимся результатов обучения $\hat{\theta} = (\hat{\theta}_{j_1}, \hat{\theta}_{j_2}, \dots, \hat{\theta}_{j_q})$, $j_k \in I_{LOC}, k = 1, 2, \dots, q$ и параметров биометрических сигналов $\hat{\eta}$ формируются в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 6. Пороговые значения $\theta^* = (\theta_{j_1}^*, \theta_{j_2}^*, \dots, \theta_{j_q}^*)$, $j_k \in I_{LOC}, k = 1, 2, \dots, q$ формируют обучающее воздействие u . Таким образом, можно управлять траекторией обучения, методами оценки уровня знаний обучающегося, адаптацией учебных материалов, их скоростью подачи, сложностью, режимами переходов между обучающимися и аттестующими сценариями с целью повышения результативности и эффективности процесса обучения.



Рис. 6. Реализация многоканальной обратной связи

Анализ параметров биометрических сигналов расширяет возможности электронных информационно-образовательных сред, позволяя осуществлять непрерывную идентификацию личности, фиксацию результатов обучения и анализировать функциональное состояние обучающегося.

Заключение

В рамках проведенного исследования были проанализированы современные стандарты описания компетенций и результатов обучения, определены их преимущества и недостатки, представлена разработанная модель образовательной программы, позволяющая построить корректную образовательную программу на основе анализа пререквизитов и результатов обучения программы и ее составных частей. Определена концепция построения электронной информационно-образовательной среды нового поколения, предоставляющей возможность автоматического построения индивидуальных траекторий обучения на основе анализа достижений, пожеланий и особенностей обучающихся, адаптируемой в ходе образовательного процесса под текущее функциональное состояние обучающегося с использованием многоканальной обратной связи. Таким образом, проведенное исследование позволяет решить актуальные проблемы и задачи современного образования.

Литература

1. Hagedorn C., Meinel C. Exploring the potential of game-based learning in massive open online courses // Proc. IEEE 17th Int. Conf. on Advanced Learning Technologies (ICALT). Timisoara, Romania, 2017. P. 542–544. doi: 10.1109/ICALT.2017.119
2. Du Z., Chen H., Jiang J. Research on the big data system of massive open online course // Proc. IEEE Int. Conf. on Big Data. Washington, 2016. P. 1931–1936. doi: 10.1109/BigData.2016.7840813
3. Zang X., Iqbal S., Zhu Y., Riaz M.S., Abbas G., Zhao J. Are MOOCs advancing as predicted by IEEE CS 2022 report? // Proc. 2nd Int. Conf. on Proceedings of the Systems Informatics, Modelling and Simulation (SIMS). Riga, Latvia, 2016. P. 49–55. doi: 10.1109/SIMS.2016.14
4. Лямин А.В., Чежин М.С. Построение электронных курсов для открытого онлайн-обучения // Труды XX Всероссийской научно-методической конференции «Телематика'2013». 2013. С. 165–166.
5. Lisitsyna L.S., Lyamin A.V., Martynikhin I.A., Cherepovskaya E.N. Cognitive trainings can improve intercommunication with e-Learning system // Proc. 6th Int. Conf. Series on Cognitive Infocommunications. Gyor, Hungary, 2015. P. 39–44. doi: 10.1109/CogInfoCom.2015.7390561
6. Лямин А.В., Васильев В.Н., Колесников Ю.Л., Чежин М.С.

References

1. Hagedorn C., Meinel C. Exploring the potential of game-based learning in massive open online courses. *Proc. IEEE 17th Int. Conf. on Advanced Learning Technologies, ICALT*. Timisoara, Romania, 2017, pp. 542–544. doi: 10.1109/ICALT.2017.119
2. Du Z., Chen H., Jiang J. Research on the big data system of massive open online course. *Proc. IEEE Int. Conf. on Big Data*. Washington, 2016, pp. 1931–1936. doi: 10.1109/BigData.2016.7840813
3. Zang X., Iqbal S., Zhu Y., Riaz M.S., Abbas G., Zhao J. Are MOOCs advancing as predicted by IEEE CS 2022 report? *Proc. 2nd Int. Conf. on Proceedings of the Systems Informatics, Modelling and Simulation, SIMS*. Riga, Latvia, 2016, pp. 49–55. doi: 10.1109/SIMS.2016.14
4. Lyamin A.V., Chezhin M.S. Building e-courses for open online learning. *Proc. 20th All-Russian Scientific Conference Telematika'2012*. St. Petersburg, Russia, 2013, pp. 165–166. (in Russian)
5. Lisitsyna L.S., Lyamin A.V., Martynikhin I.A., Cherepovskaya E.N. Cognitive trainings can improve intercommunication with e-Learning system. *Proc. 6th Int. Conf. Series on Cognitive Infocommunications*. Gyor, Hungary, 2015, pp. 39–44. doi: 10.1109/CogInfoCom.2015.7390561
6. Lyamin A.V., Vasil'ev V.N., Kolesnikov Yu.L., Chezhin M.S.

- Опыт использования компьютерных образовательных технологий в национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики // *Материалы международной научно-практической конференции «Дистанционные технологии в образовании – 2011»*. 2011. С. 68–70.
7. Лямин А.В., Чезжин М.С. Развитие электронного обучения, дистанционных образовательных технологий в НИУ ИТМО // *Информационная среда вуза XXI века: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции*. 2013. С. 145–148.
 8. Moritz D., Willems C., Goderbauer M., Moeller P., Meinel C. Enhancing a virtual security lab with a private cloud framework // *Proc. IEEE Int. Conf. on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*. Kuta, Indonesia, 2013. P. 314–320. doi: 10.1109/TALE.2013.6654452
 9. Hristov G., Zahariev P., Bencheva N., Ivanov I. Designing the next generation of virtual learning environments - Virtual laboratory with remote access to real telecommunication devices // *Proc. 24th EAEEIE*. Chania, Greece, 2013. P. 139–144. doi: 10.1109/EAEEIE.2013.6576517
 10. Bistak P., Huba M. Three-tank virtual laboratory for dynamical feedforward control based on Matlab // *Proc. 19th Int. Conf. on Electrical Drives and Power Electronics*. Dubrovnik, Croatia, 2017. P. 318–323. doi: 10.1109/EDPE.2017.8123223
 11. Lyamin A.V., Cherepovskaya E.N., Chezhin M.S. An outcome-based framework for developing learning trajectories // *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2017. V. 75. P. 129–142. doi: 10.1007/978-3-319-59451-4_14
 12. Gritschneider F., Hatzelmann P., Thom M., Kunz F., Dietmayer K. Adaptive learning based on guided exploration for decision making at roundabouts // *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Gotenburg, Sweden, 2016. P. 433–440. doi: 10.1109/IVS.2016.7535422
 13. Ефимчик Е.А., Лямин А.В. Автоматизация подготовки вариантов и оценивания решений алгоритмических заданий для виртуальных лабораторий на основе автоматной модели // *Дистанционное и виртуальное обучение*. 2015. № 6(96). С. 20–33.
 14. Yokozuka T., Thepsonthorn C., Miura S., Yap R.M.S., Kwon J., Ogawa K., Miyake Y. Body and psychological state synchrony and change by the grant of prior knowledge // *Proc. IEEE/SICE International Symposium on System Integration*. Nagoya, Japan, 2015. P. 906–911. doi: 10.1109/SII.2015.7405133
 15. InLOC Standard: Integrating Learning Outcomes and Competences. 2013.
 16. ISO/IEC 20006-1. Information Technology for Learning, Education and Training: Information Model for Competency, Part 1: Competency General Framework and Information Model. 2014.
 17. ISO/IEC 20006-2. Information Technology for Learning, Education and Training: Information Model for Competency, Part 2: Proficiency Level Information Model. 2014.
 18. IEEE Std 1484.20.1-2007. IEEE Standard for Learning Technology: Data Model for Reusable Competency Definitions.
 19. Романовский И.В. Дискретный анализ. Изд. 4-е. СПб.: Невский Диалект; БХВ-Петербург, 2008. 335 с.
 20. Падерно П.И., Попечителей Е.П. Надежность и эргономика биотехнических систем. СПб.: СПбГЭТУ, 2007. 288 с.
 21. Егоров А.С., Загрядский В.П. Психофизиология умственного труда. Л.: Наука, 1973.
 22. Лямин А.В., Скушидлевский А.А. Программное обеспечение для выявления влияния обучающего воздействия на функциональное состояние студента // *Труды XVII Всероссийской научно-методической конференции «Телематика'2010»*. 2010. Т. 1. С. 188–189.
 - Experience in the use of computer educational technologies in the National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. *Proc. Int. Conf. on Distance Technologies in Education*. 2011, pp. 68–70. (in Russian)
 7. Lyamin A.V., Chezhin M.S. Development of e-learning, distance learning technologies in the NRU ITMO. *Proc. 7th Conf. on Information Environment of the University in XXI Century*. 2013, pp. 145–148. (in Russian)
 8. Moritz D., Willems C., Goderbauer M., Moeller P., Meinel C. Enhancing a virtual security lab with a private cloud framework. *Proc. IEEE Int. Conf. on Teaching, Assessment and Learning for Engineering, TALE*. Kuta, Indonesia, 2013, pp. 314–320. doi: 10.1109/TALE.2013.6654452
 9. Hristov G., Zahariev P., Bencheva N., Ivanov I. Designing the next generation of virtual learning environments - Virtual laboratory with remote access to real telecommunication devices. *Proc. 24th EAEEIE*. Chania, Greece, 2013, pp. 139–144. doi: 10.1109/EAEEIE.2013.6576517
 10. Bistak P., Huba M. Three-tank virtual laboratory for dynamical feedforward control based on Matlab. *Proc. 19th Int. Conf. on Electrical Drives and Power Electronics*. Dubrovnik, Croatia, 2017, pp. 318–323. doi: 10.1109/EDPE.2017.8123223
 11. Lyamin A.V., Cherepovskaya E.N., Chezhin M.S. An outcome-based framework for developing learning trajectories. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2017, vol. 75, pp. 129–142. doi: 10.1007/978-3-319-59451-4_14
 12. Gritschneider F., Hatzelmann P., Thom M., Kunz F., Dietmayer K. Adaptive learning based on guided exploration for decision making at roundabouts. *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Gotenburg, Sweden, 2016, pp. 433–440. doi: 10.1109/IVS.2016.7535422
 13. Efimchik E.A., Lyamin A.V. Automation of variant construction and assessment of algorithmic tasks for virtual laboratories based on automaton model. *Distance and Virtual Learning*, 2015, no. 6, pp. 20–33. (in Russian)
 14. Yokozuka T., Thepsonthorn C., Miura S., Yap R.M.S., Kwon J., Ogawa K., Miyake Y. Body and psychological state synchrony and change by the grant of prior knowledge. *Proc. IEEE/SICE International Symposium on System Integration*. Nagoya, Japan, 2015, pp. 906–911. doi: 10.1109/SII.2015.7405133
 15. InLOC Standard: Integrating Learning Outcomes and Competences. 2013.
 16. ISO/IEC 20006-1. Information Technology for Learning, Education and Training: Information Model for Competency, Part 1: Competency General Framework and Information Model. 2014.
 17. ISO/IEC 20006-2. Information Technology for Learning, Education and Training: Information Model for Competency, Part 2: Proficiency Level Information Model. 2014.
 18. IEEE Std 1484.20.1-2007. IEEE Standard for Learning Technology: Data Model for Reusable Competency Definitions.
 19. Romanovskii I.V. *Discrete Analysis*. 4th ed. St. Petersburg, Nevskii Dialekt Publ., BKhV-Peterburg Publ., 2008, 335 p. (in Russian)
 20. Paderno P.I., Popechitelev E.P. *Reliability and Ergonomics of Biotechnical Systems*. St. Petersburg, SPbSETU Publ., 2007, 288 p. (in Russian)
 21. Egorov A.S., Zagryadskii V.P. *Psychophysiology of Mental Labor*. Leningrad, Nauka Publ., 1973. (in Russian)
 22. Lyamin A.V., Skushidlevskii A.A. Software for revealing the teaching impact influence on the student's functional state. *Proc. of All-Russian Scientific Conference Telematika'2010*. St. Petersburg, 2010, vol. 1, pp. 188–189. (in Russian)

Автор

Лямин Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, директор центра дистанционного обучения, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Scopus ID: 55425887500, ORCID ID: 0000-0002-7387-0694, lyamin@mail.ifmo.ru

Author

Andrey V. Lyamin – PhD, Associate Professor, Director of Distance Learning Center, Associate Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Scopus ID: 55425887500, ORCID ID: 0000-0002-7387-0694, lyamin@mail.ifmo.ru