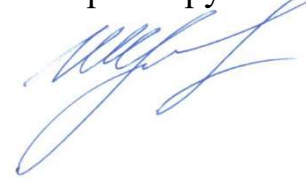


На правах рукописи



Кречетов Иван Анатольевич

**МОДЕЛИ, АЛГОРИТМЫ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА  
АДАПТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ**

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР)

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент  
Кручинин Владимир Викторович

Официальные оппоненты: Пимонов Александр Григорьевич  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой  
прикладных информационных технологий  
Кузбасского государственного технического  
университета имени Т.Ф. Горбачева  
(г. Кемерово)

Марухина Ольга Владимировна,  
к.т.н., доцент Отделения информационных  
технологий Инженерной школы  
информационных технологий и робототехники  
Национального исследовательского  
Томского политехнического университета

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Сибирский государственный  
университет телекоммуникаций  
и информатики» (г. Новосибирск)

Защита состоится «16» сентября 2021 г. в 15:15 на заседании  
диссертационного совета Д 212.268.05 ТУСУРа по адресу 634050, Томск,  
пр. Ленина, 40, ауд. 201.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТУСУРа по адресу:  
г. Томск, ул. Красноармейская, 146 и на сайте ТУСУРа  
<https://postgraduate.tusur.ru/urls/h80g08x8>

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.268.05



Костюченко Евгений Юрьевич

## **Общая характеристика работы**

### **Актуальность темы исследования**

Применяемые в современном образовании формы обучения, будь то очная или дистанционная, ориентированы в первую очередь на «усредненного» обучаемого и практически не учитывают индивидуальные особенности и потребности студентов: их уровень знаний, способности к обучению, мотивацию, личные предпочтения и т.д. При этом эффективность учебного процесса среди множества факторов и условий его осуществления определяется в том числе и технологией разработки и применения учебно-методических материалов, по которым обучаемые осваивают новые знания и навыки. Решением проблемы реализации индивидуального обучения является адаптивное обучение, призванное за счет адаптивных учебных материалов (в общем случае – адаптивного контента) повысить эффективность приобретения новых компетенций. Современная интерпретация понятия «адаптивное обучение» предполагает реализацию учебного процесса на основе применения электронных систем обучения (цифровых учебных платформ, систем дистанционного обучения), в которых содержание учебного контента подбирается в автоматическом режиме таким образом, чтобы учесть характеристики и способности конкретного обучаемого.

Большой вклад в развитие адаптивного обучения внесли ученые И.П. Норенков, А.В. Соловов, А.И. Башмаков, С.В. Тархов, Г.В. Рыбина, Л.А. Растринин, В.Н. Касьянов, Р. Brusilovsky и др. В большинстве случаев исследования не имели практического воплощения в силу сложности программной реализации систем, относящихся к классу интеллектуальных и экспертных, которые в свою очередь являются требовательными к аппаратно-программному обеспечению и до настоящего момента не имели возможности быть реализованными в виде клиент-серверных решений, способных функционировать для широкого круга удаленных пользователей.

Современные адаптивные системы обучения можно условно разделить на два класса: системы с готовым контентом и инструментальные системы. Производители систем первого класса предоставляют потребителям (образовательным учреждениям) законченные адаптивные электронные курсы, выполненные под заказ или под конкретные образовательные программы. Подобные электронные курсы интегрируются в системы дистанционного обучения (СДО) образовательного учреждения либо размещаются на платформе производителя, к которой открывается доступ пользователям. К таким поставщикам можно отнести компании Knewton, McGraw Hill, Pearson. Системы данного класса не предоставляют инструменты для редактирования и создания контента, исходя из чего не представляют

собой интерес для тех потребителей, которые ставят перед собой задачу разработки собственных адаптивных курсов для обеспечения учебного процесса. На решение этой задачи ориентированы системы второго класса, которые представляют собой инструментальное программное обеспечение, предназначенное для создания учебных ресурсов (электронных курсов, тренажеров) с элементами адаптивного обучения. Из известных и доступных для анализа систем можно отметить продукты зарубежных разработчиков: Cerego, IADLearning, Smart Sparrow. Однако данные системы закрыты для разработчиков, имеют высокую стоимость и ряд недостатков методологического и технического характера, не учитывают особенности образования в России. Стоит также отметить, что на сегодняшний день на рынке отечественного программного обеспечения не существует решений, предназначенных для разработки и внедрения адаптивных электронных ресурсов.

Реализация инструментальной учебной системы в технологии адаптивного обучения основывается на применении моделей обучаемого, модели учебного контента, а также модели адаптации. Разработка новых или выбор существующих моделей является вопросом научного исследования из-за их непосредственного влияния на функциональные возможности системы и адекватности получаемого результата.

Таким образом, актуальной является задача разработки моделей, методов и инструментальной системы для реализации технологии адаптивного обучения.

### **Цели и задачи**

Целью настоящей диссертационной работы является разработка моделей, алгоритмов и инструментальной системы для технологии адаптивного обучения в системах дистанционного обучения.

Основные задачи диссертационного исследования:

1. Анализ моделей и методов адаптивного обучения.
2. Анализ программных средств разработки адаптивных электронных курсов.
3. Теоретическое исследование построения технологии адаптивного обучения, построение интегрированной модели, включающей модель предметной области, модель кривой забывания, модель обучаемого.
4. Разработка и исследование алгоритма адаптивного обучения.
5. Выбор технологии реализации и описание структуры программного обеспечения, описание программного и алгоритмического обеспечения.

6. Исследование полученных методик и инструментального средства, описание внедрения адаптивного обучения в реальный учебный процесс.

7. Сравнение полученных инструментальных средств с известными.

#### **Объект исследования**

Объектом исследования являются методики и технологии адаптивного обучения в системах дистанционного обучения вуза.

#### **Предмет исследования**

Предметом исследования являются модели, алгоритмы и инструментальные средства адаптивного обучения на основе кривой забывания.

#### **Научная новизна**

1. Предложена оригинальная модель адаптивного обучения, отличающаяся от известных тем, что в ней агрегированы модель забывания, модель предметной области, модель обучаемого, и позволяющая автоматизировать процесс адаптивного обучения.

2. Получен новый алгоритм определения индивидуальной траектории обучения в системе дистанционного обучения, основанный на разработанной модели адаптивного обучения.

3. Разработан оригинальный функционал инструментальной системы организации процесса адаптивного обучения, отличающийся от существующих аналогов автоматическим формированием траектории, адаптацией траектории на основе изменения состояний модели обучаемого, функцией поиска контента по базе данных системы, возможностью использования одного и того же контента в разных курсах, поддержкой итеративного обучения, доступом обучаемого к своей истории обучения.

4. Получена новая методика, позволяющая уменьшить затраты на реализацию технологии адаптивного обучения.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. Предложенная агрегированная модель адаптивного обучения, включающая модель забывания, модель предметной области, модель обучаемого, позволяет автоматизировать технологию адаптивного обучения в современных системах дистанционного обучения.

2. Разработанный алгоритм определения индивидуальной траектории обучения, основанный на применении модели адаптивного обучения, позволяет получить требуемый уровень знаний на момент окончания курса.

3. Полученные оригинальные структура и функционал инструментальной системы являются полными и обеспечивают реализацию

моделей и алгоритмов технологии адаптивного обучения в системах дистанционного обучения.

4. Методика построения технологии адаптивного обучения, включающая следующие основные этапы: получение списка субкомпетенций, разработка учебных модулей, разработка тестовых заданий, запуск адаптивного электронного курса, – позволяет экономить время разработчиков на 37% по сравнению с известными.

#### **Достоверность результатов работы**

Достоверность диссертационного исследования обеспечивается корректным применением аппарата математической теории забывания, использованием разработанных моделей и алгоритмов на практике, сравнением полученных результатов с известными. Проведена статистическая обработка результатов внедрения.

#### **Теоретическая значимость**

Теоретическая значимость заключается в развитии и конкретизации моделей и алгоритмов адаптивного обучения на основе использования кривой забывания.

#### **Практическая значимость**

Практическая значимость работы обуславливается возможностью использования разработанных моделей и программных средств для построения технологии адаптивного обучения в системах дистанционного обучения. Внедрение разработок позволяет:

- 1) снизить затраты на реализацию проектов по адаптивному обучению посредством применения инструментальной системы;
- 2) повысить качество обучения за счет применения в образовательном процессе технологий адаптивного обучения;
- 3) повысить конкурентоспособность российского высшего образования на внешних рынках.

#### **Методы исследования**

Методы системного анализа, методы, основанные на применении кривой забывания, методы оптимизации, методы объектно-ориентированного программирования, методы проектирования, разработки и тестирования программного обеспечения.

#### **Внедрение**

Основные результаты диссертационной работы используются в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники, Томском государственном университете, Национальном исследовательском техническом университете «МИСиС». Компоненты структуры и функционала разработанного программного обеспечения

зарегистрированы в Реестре программ для ЭВМ (свидетельство № 2021612218).

Результаты диссертационного исследования использованы в ФГБОУ ВО «ТУСУР» при выполнении государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, проект FEWM-2020-0036 «Методологическое и инструментальное обеспечение принятия решений в задачах управления социально-экономическими системами и процессами в гетерогенной информационной среде».

#### **Апробация результатов работы**

Основные результаты диссертации были доложены на 15 международных научных и научно-методических конференциях и симпозиумах, 1 всероссийской научно-технической конференции.

#### **Публикации**

По результатам выполненных исследований было опубликовано 17 научных работ, в том числе 7 работ в изданиях, включенных в перечень ВАК, и изданиях Scopus.

#### **Личный вклад**

Содержательная и математическая постановка задач осуществлялись совместно с научным руководителем. Разработка моделей, алгоритмов и методик выполнена лично автором.

#### **Объем работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 70 наименований, четырех приложений. Объем работы составляет 150 страниц машинописного текста.

#### **Соответствие результатов диссертационной работы и направлений исследований специальности 05.13.10**

Полученная агрегированная модель адаптивного обучения соответствует

п. 3. «Разработка моделей описания и оценок эффективности решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах».

Полученные алгоритм определения индивидуальной траектории обучения и методика построения технологии адаптивного обучения соответствуют

п. 4. «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах».

Полученная инструментальная система соответствует  
п. 5. «Разработка специального математического и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в социальных и экономических системах».

## Содержание работы

**Во введении** приведена общая характеристика диссертационного исследования и его результатов, включая актуальность темы исследования, цели, задачи и методы исследования, научную новизну, практическую значимость работы, положения, выносимые на защиту, внедрение и апробацию результатов исследования.

**В первой главе** приведены основные термины и понятия, произведен обзор и анализ программных средств и технологий реализации адаптивного обучения. Раскрывается понятие адаптивного обучения – в современной интерпретации адаптивное обучение существует вне отрыва от электронного обучения, поскольку реализуется средствами информационных технологий, в основе которых лежат алгоритмы построения *индивидуальных траекторий*. Вводится понятие *модуля* – минимальной единицы учебного контента, которая лежит в основе построения индивидуальной траектории обучения. Модуль имеет метаданные и содержательную часть. В качестве содержания модуля могут выступать текст, графика, видео, аудио либо интерактивные мультимедиа. В состав метаданных модуля входят *субкомпетенции*. Субкомпетенция является элементом декомпозиции компетенций (используемых в образовательных программах) на составные элементы и определяет измеряемый учебный результат, это может быть знание темы, понятия или термина, владение навыком. В практике проектирования адаптивного контента модулям назначаются *входные* субкомпетенции – результаты, которые должен иметь обучаемый для того, чтобы работать с модулем, и *выходные* субкомпетенции – результаты, которые обучаемый обретает после прохождения модуля (для краткости употребления вместо термина «субкомпетенция» может использоваться «компетенция»). Приводится определение *модели студента*, которая представляет собой цифровой образ пользователя в системе, включающий информацию о целях обучения, уровне знаний, индивидуальных характеристиках, способностях к обучению, свойствах памяти и т.д.

Рассматривается архитектура модели адаптивного обучения. В большинстве случаев она состоит из модели предметной области, модели обучаемого и модели адаптации. Анализ ряда работ показал, что при построении адаптивных систем используется общий подход реализации модели предметной области: в качестве элементарного носителя контента выступает модуль; модули находятся в отношениях между собой, образуя двудольный граф; в основе структуры модуля может лежать онтология либо иная структура представления информации и хранения данных, необходимых для работы адаптивных алгоритмов. При реализации модели обучаемого широкое



применение обрела *оверлейная* модель обучаемого, которая представляет собой структуру пар «понятие – значение». Значение является оценкой уровня знаний конкретного обучаемого по конкретной компетенции и может измеряться различными шкалами. Подчеркивается, что модель обучаемого динамична и изменяется в ходе работы обучаемого с адаптивной системой. Анализ методов и технологий систем адаптивных гипермедиа показал, что возможна классификация моделей адаптации по двум типам: адаптивное представление контента и адаптивная навигационная поддержка. Наиболее часто в современных системах с поддержкой адаптивного обучения можно встретить реализацию метода «*следующий наилучший*», относящегося к типу систем навигационной поддержки. Метод предполагает последовательную выдачу обучаемому модулей и проверку знаний, при этом каждая новая выдача основана на предшествующем опыте прохождения модулей.

Произведен анализ существующих программных средств реализации адаптивного обучения. Для анализа были выбраны системы: Cerego, IADLearning, Smart Sparrow. Анализ выявил ряд несовершенств у рассматриваемого ПО, а также подтвердил актуальность проблемы, связанной с отсутствием решений для реализации адаптивного обучения посредством инструментальных систем.

**Во второй главе** описаны теоретические аспекты реализации адаптивного обучения, включая описание моделей и алгоритмов.

В качестве *модели предметной области* и *модели обучаемого* введены обозначения:

1. Множество компетенций курса  $K = \{K_j\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ , где  $m$  – количество компетенций.

2. Множество образовательных модулей курса  $M = \{M_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , где  $n$  – количество модулей. Модуль описывается четверкой  $M_i = (TM_i, KI_i, KO_i, RO_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , где  $TM_i$  – время изучения модуля,  $KI_i$  и  $KO_i$  – списки входных ( $KI_i = \{comp_k\}$ ,  $comp_k \in [1, m]$ ,  $k = 1, 2, \dots, ni$ ) и выходных ( $KO_i = \{comp_k\}$ ,  $comp_k \in [1, m]$ ,  $k = 1, 2, \dots, no$ ) компетенций,  $RO_i$  – получаемый уровень знаний для каждой выходной компетенции.

3. Множество групп тестов  $T = \{T_j\} = \{\{T_{jk}\}\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ ,  $k = 1, 2, \dots, nt_j$ , предназначенных для оценки знаний компетенций  $K$ . Группа тестов  $T_j$  предназначена для проверки знаний по компетенции  $K_j$  и может включать один или множество тестов  $T_{jk}$ .

4. Время начала курса  $t_{нач}$ , время окончания курса  $t_{кон}$ , текущее время  $t_{тек}$ .

5. Модель обучаемого  $S=(HM,HR,RK)$ . Здесь компонент  $HM$  – это личная история изучения студентом модулей, она содержит идентификаторы модулей и время их изучения,  $HM = \{(mod_k, th_k)\}$ ,  $mod_k \in [1, n]$ ,  $k = 1, 2, \dots, nh$ . Компонент  $HR$  – это история изменения уровня знаний по каждой компетенции,  $HR = \{HR_j\} = \{\{(RA_{jk}, tr_{jk})\}\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ ,  $k = 1, 2, \dots, nr_j$ , где  $RA_{jk}$  – актуальный уровень знаний студентом компетенции  $K_j$  на момент времени  $tr_{jk}$ . Если множество  $HR_j = \emptyset$ , т.е. компетенция  $K_j$  еще ни разу не была изучена, то  $RA_{j0} = 0$ . Компонент  $RK$  – это коэффициенты кривой забывания для различного количества повторений студентом учебного материала,  $RK = \{(k_r, c_r)\}$ , где коэффициенты  $k_r$  и  $c_r$  соответствуют количеству повторений  $r$ ,  $r = 1, 2, \dots$

6. Уровень удовлетворительного усвоения учебного материала  $R_{norm}$ .

7. Множества достаточно ( $KS$ ) и недостаточно ( $KF$ ) изученных компетенций. Если уровень  $RA_{jl}$  усвоения знаний по какой-либо компетенции  $K_j$  (причем  $l = nr_j$ , т.е. берем последний элемент множества  $HR_j$ ) ниже  $R_{norm}$ , то она считается недостаточно изученной, в противном случае – достаточно изученной. В терминах исчисления предикатов:

$$KS = \{comp_k \mid RA_{comp_k l} \geq R_{norm}\}, \quad comp_k \in [1, m], \quad k = 1, 2, \dots, ns,$$

$$KF = \{comp_k \mid RA_{comp_k l} < R_{norm}\}, \quad comp_k \in [1, m], \quad k = 1, 2, \dots, nf.$$

8. Множество модулей  $A = \{mod_k\}$ ,  $mod_k \in [1, n]$ ,  $k = 1, 2, \dots, na$ , реализующих недостаточно изученные компетенции, т.е.

$$\bigcup_{i \in A} KO_i \subseteq KF,$$

но при этом

$$KO_{mod_k} \not\subseteq KS, \quad k = 1, 2, \dots, na.$$

Последнее условие означает, что множество  $A$  не включает модули, все выходные компетенции которых уже изучены на достаточном уровне.

9.  $G = (V, C)$  – двудольный граф, образующийся из вершин  $V$  и множества связей между вершинами  $C$ , где  $V = \{M, K\}$ . Модуль  $M_i$  может иметь несколько как входных, так и выходных компетенций. Очевидно, что некоторая  $K_j$  будет являться одновременно входной компетенцией для одного модуля и выходной для другого.

10. Траектория обучения студента представляет собой ориентированный граф-путь  $P$  графа  $G$ , который определяет последовательность прохождения образовательных модулей. Набор модулей меняется со временем, поэтому имеет смысл рассматривать путь  $P$  как непротиворечивый порядок изучения

модулей множества  $A$ , т.е.  $P = \{mod_k\}$ ,  $mod_k \in [1, n]$ ,  $k = 1, 2, \dots, np$  (не обязательно всех). В результате изучения модулей, входящих в  $P$ , должен быть повышен уровень знаний по всем компетенциям, для которых  $RA_{jl} < R_{norm}$ . Требование непротиворечивости означает, что к моменту изучения каждого модуля из  $P$  должны быть изучены все требуемые входные компетенции, т.е.

$$KS \cup \bigcup_{i < k} KO_{mod_i} \subseteq KI_{mod_k}, \quad k = 1, 2, \dots, np. \quad (1)$$

Для экстраполяции уровня остаточных знаний на момент окончания курса, отталкиваясь от промежуточных результатов тестирования, была использована модель, основанная на скорости забывания информации. Первое экспериментальное исследование памяти и процессов забывания в конце XIX в. выполнил немецкий психолог Герман Эббингауз, который показал, что скорость забывания удовлетворительно аппроксимируется функцией

$$R(t) = \frac{k}{\lg t + c}, \quad (2)$$

где  $k = 1,84$  и  $c = 1,25$ , если время  $t$  выражено в минутах. Эти значения были получены для запоминания информации, лишенной ассоциативной связи. На практике для вычисления (2) предлагается использовать следующий подход:

$$R(t) = \begin{cases} 1, & t < 1; \\ \min\left(\frac{k}{\lg t + c}, 1\right), & t \geq 1. \end{cases}$$

Для закрепления знаний обучаемого на требуемом уровне предлагается использовать итеративное научение – способ обучения, предполагающий многократное повторение ранее изученного материала. Вид зависимости кривой забывания от повторений изображен на рисунке 1. С учетом увеличения объема остаточных знаний при повторении было получено выражение:

$$R(t, r) = \begin{cases} R(t), & r = 1, \\ \frac{k(r)}{\lg t + c(r)}, & r > 1. \end{cases} \quad (3)$$

Формула (3) получена исходя из предположения, что при каждом повторении материала студент восстанавливает уровень знаний до 100%, но на практике возможны случаи, когда повторное тестирование показывает меньший результат, поэтому (3) применяется только к новым полученным знаниям.

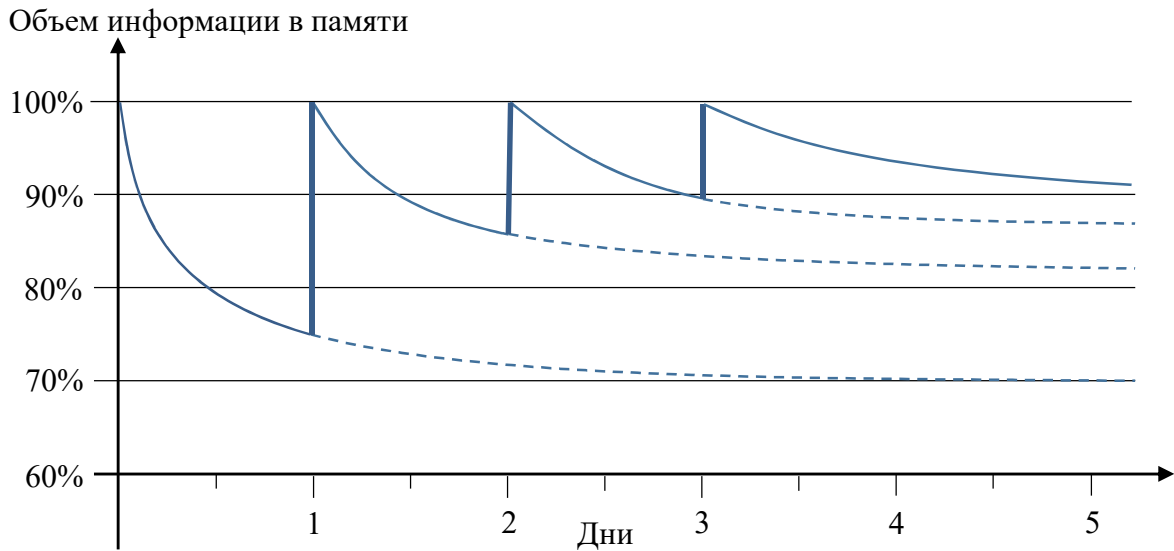


Рисунок 1 – Кривая забывания при итеративном обучении

Сформулирована задача адаптивного обучения – построение оптимальной траектории изучения студентом модулей курса. Пусть задано множество компетенций  $K$ , необходимых для освоения обучаемым, а также множество модулей  $M$ , реализующих  $K$ . При этом одну и ту же произвольную компетенцию  $K_j$  может реализовывать более чем один модуль. У каждого модуля имеется как минимум одна выходная компетенция и ноль или более входных. Множество модулей и компетенций образуют двудольный граф  $G=(V,C)$ , состоящий из вершин модулей и вершин компетенций  $V=\{M,K\}$ , а также множества связей  $C$  между ними. Пусть задано время  $t$ , отведенное на обучение. При освоении модуля  $M_i$  обучаемый приобретает знание по соответствующей этому модулю выходной компетенции из набора  $K$ , измеряемое по условной шкале от 0 до 100%. Пусть  $R$  – суммарное значение уровней остаточных знаний всех компетенций на момент окончания обучения. Задача системы – найти такой путь  $P$  на графе  $G$ , чтобы на момент окончания курса  $R$  имело максимальное значение, т.е.

$$R(P, t) \rightarrow \max. \quad (4)$$

Ограничения задачи (4):

1. Должно выполняться условие непротиворечивости прохождения модулей (1).
2. При завершении освоения обучаемым модуля и переходе к следующему к только что приобретённым компетенциям применяется закономерность (2). Согласно концепции итеративного обучения, один и тот же модуль может участвовать в  $P$  более чем один раз. Поскольку модуль характеризуется временем, отведенным на его изучение, то порядок модулей разной продолжительности (с учетом условия непротиворечивости

прохождения), а также повторное включение в  $P$  ранее изученных модулей оказывают прямое влияние на  $R$  к моменту окончания обучения.

3. Одна и та же компетенция может быть выходной у более чем одного модуля в наборе  $M$ , при этом для однократного освоения обучаемому достаточно предъявить только один модуль из существующих альтернатив.

4. Суммарное время прохождения траектории (всех модулей, с учетом их повторного предъявления) не должно превышать время, отведенное на освоение курса.

Данную оптимизационную задачу на графе сложно свести к классической задаче оптимизации для того, чтобы выбрать соответствующие методы решения. Кроме того, пространство решений задачи является дискретным. В связи с этим для решения задачи был выбран генетический алгоритм, преимущество которого состоит в том, что за относительно короткое время он находит приблизительные оптимальные решения.

Приведена общая блок-схема алгоритма адаптивного обучения (рис. 2) и его описание.

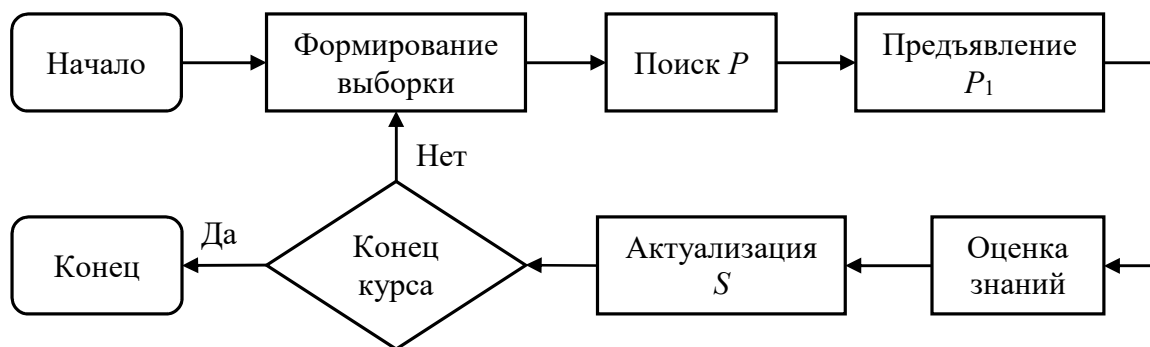


Рисунок 2 – Общая блок-схема алгоритма адаптивного обучения

1. *Формирование выборки.* На данном этапе формируется множество  $A$ , состоящее из модулей, реализующих недостаточно изученные компетенции. Компетенция  $K_j$  считается недостаточно изученной в двух случаях. Во-первых, если ранее она студентом вообще не изучалась, т.е.  $HR_j = \emptyset$ . Во-вторых, если компетенция является *утраченной*, т.е. уровень ее освоения, согласно кривой забывания, со временем опустился ниже уровня  $R_{norm}$ .

2. *Поиск P.* Для поиска траектории обучения используется генетический алгоритм.

3. *Предъявление  $P_1$ .* Обучаемому предоставляется для обучения первый модуль из  $P$ .

4. *Оценка знаний.* На данном этапе обучаемому предоставляется тест для проверки уровня знаний по выходным компетенциям модуля.

5. *Актуализация S*. После проведения теста обновляется актуальный уровень знаний студента в истории  $HR_j$ . При этом обновляется компонент модели обучаемого  $RK$  на основе результатов тестирования.

6. Проверка на окончание курса. Окончание курса наступает в двух случаях. Во-первых, при истечении времени курса, т.е. если  $t_{мек} \geq t_{кон}$ . Во-вторых, если все компетенции изучены на удовлетворительном уровне, т.е.  $KS = K$ ,  $KF = \emptyset$ .

В качестве языка реализации был выбран язык C#. Было выполнено несколько оптимизаций генетического алгоритма, после чего проведено исследование скорости его работы в зависимости от количества модулей и компетенций, входящих в адаптивный курс. Эксперименты показали, что максимальное количество поколений, которые требуются генетическому алгоритму для нахождения оптимального решения, зависит от вариативности базы модулей и компетенций. Если вариативность не слишком высокая, то оптимальное решение может быть найдено уже к 5-му поколению. При повышении вариативности требуемое количество итераций работы алгоритма возрастает. Таким образом, время работы алгоритма зависит от общего количества модулей и компетенций, имеющихся в курсе, а также от степени вариативности модулей.

**В третьей главе** приводится описание разработки программного обеспечения для модели адаптивного обучения. Определяются нефункциональные и функциональные требования. В качестве платформы реализации была выбрана система дистанционного обучения Moodle как самая распространенная СДО среди учебных заведений по всему миру. Архитектура системы адаптивного обучения была спроектирована в виде компонентов:

- модуля, разработанного на PHP и отвечающего за взаимодействие пользователя с системой и интеграцию с СДО;

- модуля, разработанного на технологии C# и отвечающего за работу алгоритма адаптивного обучения.

Ключевыми пользователями системы являются:

- *обучаемые* – участники этой роли имеют возможность изучения адаптивных курсов, а также доступ к личному кабинету;

- *преподаватели* или *авторы адаптивных учебных курсов* – участники этой роли имеют доступ к инструментарию для наполнения базы данных образовательными объектами, а также к истории обучения и успеваемости студентов;

- *администраторы* – участники этой роли имеют доступ к настройке серверов Системы, управлению БД, а также к управлению СДО Moodle.

Для каждой роли представлены диаграммы вариантов использования. Для реализации необходимого функционала системы были спроектированы и представлены макеты экранных форм (прототипы интерфейсов).

Общая архитектура полученного программного комплекса изображена на рисунке 3.

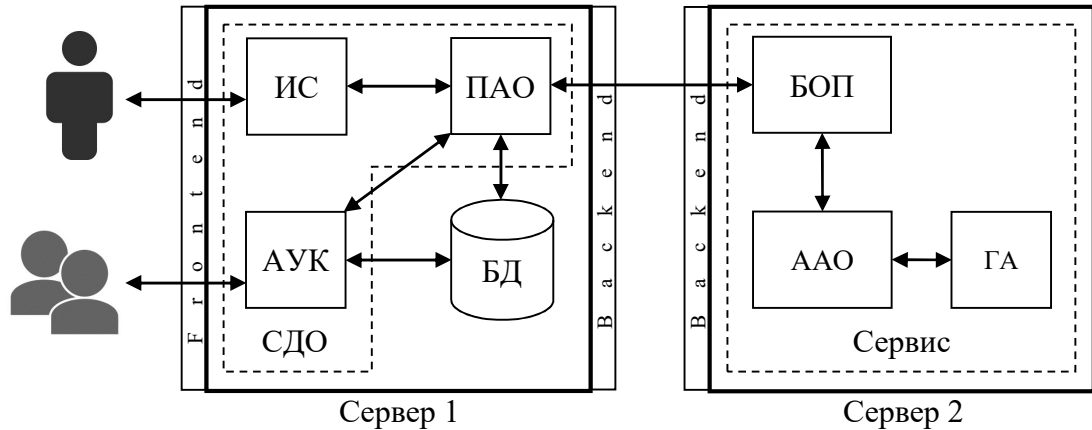


Рисунок 3 – Общая архитектура программного комплекса

Программный комплекс состоит из двух серверов, между которыми реализован обмен данными, и включает в себя:

*Сервер 1 (Linux):*

1. СДО – система дистанционного обучения Moodle, состоящая из компонентов: адаптивный учебный курс (блок «АУК»); инструментальная система для работы с базой адаптивного контента и разработки адаптивных электронных курсов (блок «ИС»); плагин адаптивного обучения (блок «ПАО»), реализующий сценарии адаптивного обучения и осуществляющий функции обмена данными между СДО (Сервер 1) и сервисом, развернутым на Сервере 2.

2. База данных (блок «БД»), реализующая хранение информации о модулях курса, тестах, профилях студентов и т.д.

*Сервер 2 (Windows):*

3. Сервис (служба Windows), обменивающийся данными с блоком ПАО и реализующий алгоритмы работы системы адаптивного обучения (блок «Служба»). Данная служба включает следующие компоненты:

– блок отправки и приема данных (БОП), осуществляющий обмен данными с ПАО в формате JSON по протоколу TCP, – принимает информацию, необходимую для запуска адаптивного алгоритма (профиль пользователя, списки модулей, компетенций и других компонентов АУК), и отправляет в обратном направлении результаты его работы (следующий рекомендуемый модуль траектории, списки забытых компетенций, точки кривой забывания);

– программная реализация алгоритма адаптивного обучения (блок «ААО»), обеспечивающая вычисление коэффициентов кривой забывания, запуск генетического алгоритма, формирование точек кривой и т.п.;

– программная реализация генетического алгоритма (блок «ГА»), реализующая определение оптимальной траектории обучения.

Данная архитектура позволяет гибко менять конфигурацию решения. Она сделана максимально независимой от используемой СДО – при необходимости использования АУК в другой СДО потребуется только переработка блока ПАО. Реализация ААО (и особенно ГА) на отдельном сервере удобна также для балансировки нагрузки – работа алгоритмов требует существенных вычислительных ресурсов, поэтому использование облачного сервиса позволяет не увеличивать отклик сервера, на котором функционирует СДО.

Общий алгоритм работы программного решения:

1. При формировании адаптивного учебного курса преподаватель производит наполнение БД модулями, компетенциями и другими объектами посредством инструментальной системы (ИС).

2. Когда в адаптивный курс заходит студент, ядро (ПАО) проверяет, определен ли следующий модуль для предоставления его студенту. Если нет, то запускается работа ААО. Модуль может уже быть определен, если студент не закончил его изучение при предыдущем сеансе работы с системой.

3. Сервис на Сервере 2 получает ТСП-запрос, в который в числе прочих параметров входят данные профиля студента и содержимое адаптивного курса. После этого запускается компонент ААО.

4. ААО проверяет, есть ли модули, которые студент должен получить вне очереди (добавление которых в траекторию обусловлено механизмами пререквизитов и маркеров). Если такие модули есть, то результатом работы ААО будет идентификатор одного из них, выбранного случайным образом. Далее ААО вычисляет актуальные коэффициенты кривой забывания и определяет, закончено ли студентом изучение курса. Если закончено (т.е. все компетенции изучены на достаточном уровне), эта информация будет передана в ПАО. Если нет, для определения следующего рекомендуемого модуля запускается ГА.

5. Если ПАО получил информацию, что изучение курса окончено, студент получает сообщение об этом. В противном случае ему предоставляется следующий рекомендуемый модуль. После изучения модуля студент выполняет тест, проверяющий уровень усвоения модуля (точнее, обеспечиваемых им компетенций), после чего следует возврат на шаг 2.

Далее разработанная система адаптивного обучения упоминается под названием SAO Nexbe.



**В четвертой главе** приводится методика создания адаптивных электронных курсов на основе системы адаптивного обучения, описание внедрения полученных результатов, а также сравнительный анализ инструментальных систем.

Методика создания адаптивных электронных курсов на основе применения разработанной инструментальной системы включает в себя 4 этапа:

1. *Получение набора субкомпетенций.* На данном этапе производится декомпозиция компетенций на составные элементы – субкомпетенции. Декомпозиция производится до тех пор, пока не станет понятным, что уровень освоения субкомпетенции может быть измерен с помощью тестовых заданий. Полученный список субкомпетенций вносится в систему.

2. *Разработка модулей.* В систему вносятся данные о модулях, которые будут обеспечивать субкомпетенции. Под обеспечением в данном случае понимается создание модуля, у которого *выходной* будет являться та или иная субкомпетенция, полученная на этапе декомпозиции. Также модулям присваиваются *входные* субкомпетенции.

3. *Создание тестовых заданий.* Система будет отслеживать процесс забывания студентом изученной информации на основе кривой забывания и в определенные моменты уточнять (посредством тестирования), забыл студент ту или иную субкомпетенцию или нет. Для каждой субкомпетенции должен быть создан тест, состоящий из некоторого количества вопросов. Эти же тесты выводятся после изучения соответствующего модуля.

4. *Запуск адаптивного электронного курса.* Перед запуском производится установление общих настроек адаптивного курса. В соответствующем разделе разработчику необходимо указать дату начала и окончания обучения в курсе, а также задать режим навигации обучаемого по курсу (свободный или строгое следование алгоритму).

Для разработчиков адаптивных электронных курсов была также разработана инструкция по проектированию адаптивного контента, которая содержит в себе описание концептуальных основ адаптивного обучения и методики проектирования модулей и компетенций для последующей загрузки в САО Nexbe.

В рамках соглашения между ТУСУР и НИТУ «МИСиС» в осеннем семестре 2018–2019 уч. г. кафедрой ОиНХ НИТУ «МИСиС» была проведена апробация адаптивного курса по дисциплине «Общая химия» (раздел «Химическая кинетика»), разработанного с помощью САО Nexbe. При преподавании дисциплины использовалась модель смешанного обучения, основанная на технологии «перевернутого класса». Реализация курса осуществлялась по разработанной методике создания адаптивных

электронных курсов на основе системы адаптивного обучения. В систему были внесены: 21 тест из 156 вопросов; 36 модулей; 46 субкомпетенций.

В качестве испытуемых, проходящих обучение с применением технологии адаптивного обучения, были взяты две учебные группы (выборка в общем количестве 20 человек) из одного потока одного направления подготовки, обучающиеся у одного преподавателя. Вторая пара групп (другие 20 человек) из того же потока проходила обучение без применения технологии адаптивного обучения. Оценка полученных знаний производилась посредством контрольных мероприятий. Сравнительная диаграмма успеваемости представлена на рисунке 4. Ось ординат показывает долю обучающихся (в процентах), успешно справившихся с контрольными мероприятиями.

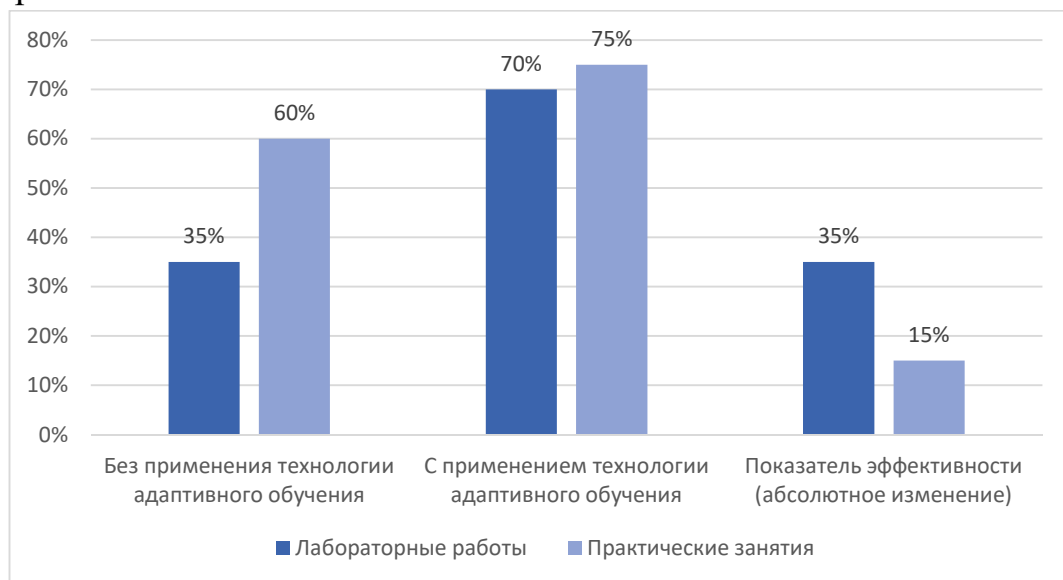


Рисунок 4 – Сравнительная диаграмма успеваемости обучающихся из разных групп

Из диаграммы видно, что успеваемость обучающихся из экспериментальной группы (с применением адаптивного обучения) по двум блокам мероприятий выше, чем у студентов, осваивающих программу в традиционном формате. Абсолютный прирост доли студентов, справившихся с лабораторным блоком, составил 35%, с блоком практических занятий – 15%.

САО Nexbe также была внедрена в промышленную эксплуатацию на факультете дистанционного обучения (ФДО) ТУСУР. С помощью данной системы был разработан и внедрен в учебный процесс электронный курс «Информатика», состоящий из 6 разделов, в котором первые два раздела были модифицированы на основе предшествующей версии курса и реализованы по технологии адаптивного обучения. Модификация осуществлялась по разработанной методике, при этом в систему были внесены: 56 тестов, 382 вопроса, 45 модулей, 54 субкомпетенции. Особенность учебного процесса ФДО ТУСУР позволяет исследовать статистику учебных данных на

различных отрезках времени, а не только в периоды классических семестров. Оценка эффективности от адаптивного обучения производилась на основе результатов тестирования двух групп. В первую группу вошли 46 человек, завершивших обучение по адаптивному электронному курсу «Информатика» в 2020 г.; вторая группа была сформирована из 46 человек, проходивших обучение в 2017–2019 гг. по электронному курсу «Информатика», версия которого не включала в себя разделы с адаптивным обучением. Для первого раздела технология адаптивного обучения позволила повысить средний балл успеваемости на 9,8%, для второго раздела – на 19,4%.

Приведено сравнение полученного программного обеспечения с известными аналогами, которое показало, что рассмотренные программные средства уступают в функциональности CAO Nexbe.

Для анализа эффективности применения инструментальной системы в промышленной эксплуатации был проведен сравнительный эксперимент, целью которого являлось определение временных затрат на создание адаптивных электронных курсов. В эксперименте участвовали программные средства: Cerego, IADLearning, Smart Sparrow, CAO Nexbe. Рассматривались только необходимые для создания адаптивного электронного курса этапы. Эксперимент показал, что по всем этапам разработки адаптивного электронного курса CAO Nexbe позволяет достичь результат с меньшими затратами. В сравнении с ближайшим по полученному значению затрат аналогом (IADLearning) сокращение времени на разработку курса при использовании CAO Nexbe составило 37% (рис. 5).

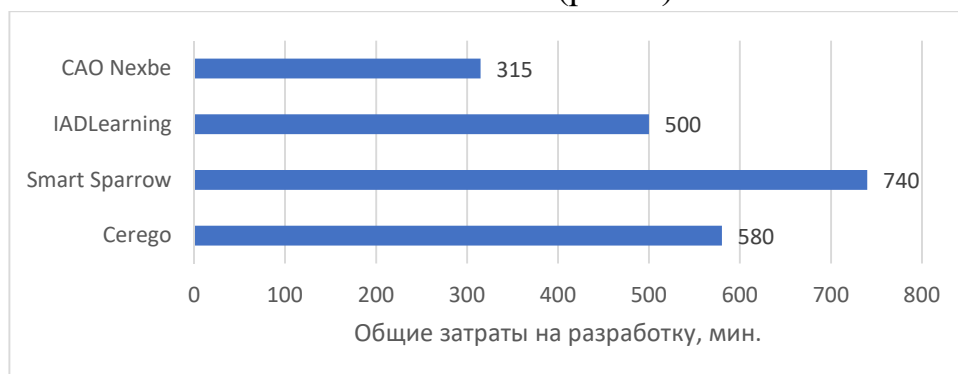


Рисунок 5 – Сравнительная диаграмма затраченного времени на разработку адаптивного электронного курса

## Заключение

1. Проведен обзор и анализ моделей и методов адаптивного обучения, рассмотрены инструментальные программные средства реализации адаптивных электронных курсов. Анализ показал, что большинство теоретических исследований вопросов адаптивного обучения не обрели практического воплощения. Известные системы адаптивного обучения в

большинстве случаев закрыты. Доступные для анализа системы обладают рядом недостатков.

2. Построена оригинальная модель адаптивного обучения, включающая модель забывания, модель предметной области, модель обучаемого и позволяющая автоматизировать процесс адаптивного обучения в современных системах дистанционного обучения.

3. Построен новый алгоритм определения индивидуальной траектории обучения в системе дистанционного обучения, основанный на разработанной модели адаптивного обучения, позволяющий получить заданный уровень знаний на момент окончания курса.

4. Получены оригинальные структура и функционал инструментальной системы, представляющие собой двухсерверную конфигурацию (сервер системы дистанционного обучения с интегрированным плагином адаптивного обучения, а также сервер, исполняющий алгоритм адаптивного обучения) и обеспечивающие реализацию полученных моделей и алгоритмов адаптивного обучения в СДО.

5. Произведено сравнение полученной инструментальной системы с аналогами. Сравнение показало, что рассмотренные аналоги уступают в функциональности САО Nexbe и в большей степени могут быть использованы только в качестве инструментов создания вспомогательных элементов тренинга и самоконтроля знаний, интегрируемых в электронные курсы. САО Nexbe позволяет сократить время на разработку адаптивных электронных курсов.

6. Создана новая методика построения адаптивных электронных курсов на основе инструментальной системы, включающая следующие основные этапы: получение списка компетенций, разработка учебных модулей, разработка тестовых заданий, запуск адаптивного электронного курса, и позволяющая уменьшить время и материальные затраты на реализацию адаптивного обучения.

7. Разработаны адаптивные электронные курсы «Химия» и «Информатика», которые были внедрены в учебный процесс Национального исследовательского технического университета «МИСиС» и Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники соответственно. Результаты внедрения показали правильность выбранных решений и позволили повысить успеваемость студентов, проходивших обучение с применением технологий адаптивного обучения, обеспечили гибкий подход к разработке адаптивных электронных курсов, обеспечили возможность проведения глубокого анализа индивидуальных траекторий.

## **Публикации по теме диссертации**

### ***Публикации в журналах из списка ВАК:***

1. Кречетов, И.А. Моделирование и технология онтологического подхода при разработке образовательного контента / И.А. Кречетов, В.В. Кручинин // Доклады ТУСУР. – 2011. – № 2(24). – Ч. 2. – С. 322–325.
2. Кречетов, И.А. Требования к разработке образовательного контента в современных условиях / И.А. Кречетов // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2013. – № 3 (69). – С. 89–92.
3. Кречетов, И.А. Об одном алгоритме адаптивного обучения на основе кривой забывания / И.А. Кречетов, В.В. Кручинин // Доклады ТУСУР. – 2017. – № 1 (20). – С. 75–80.
4. Городович, А.В. Развитие программно-методического обеспечения технологий электронного обучения в ТУСУРе / А.В. Городович, О.Ю. Исакова, И.А. Кречетов, В.В. Кручинин, Ю.В. Морозова, В.В. Романенко, И.П. Черкашина // Доклады ТУСУР. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 62–69.
5. Кречетов, И.А. Реализация адаптивного обучения: методы и технологии / И.А. Кречетов, В.В. Романенко, В.В. Кручинин, А.В. Городович // Открытое и дистанционное образование. – 2018. – № 3 (71). – С. 33–39.
6. Городович, А.В. Инструментальная система анализа и оценивания учебного контента / А.В. Городович, И.А. Кречетов, В.В. Кручинин, М.Ю. Перминова // Доклады ТУСУР. – 2020. – Т. 23, № 2. – С. 81–88.

### ***Публикации, индексируемые в WoS/Scopus:***

7. Krechetov, I., Romanenko, V. (2020). Implementing the adaptive learning techniques. *Voprosy Obrazovaniya*, 2020(2), 252-277. doi:10.17323/1814-9545-2020-2-252-277.

### ***Материалы и тезисы конференций:***

8. Кречетов, И.А. Искусственный интеллект в образовании: реализация адаптивного обучения на основе учебной аналитики / И.А. Кречетов, В.В. Романенко // Современное образование: повышение конкурентоспособности университетов : материалы Междунар. науч.-метод. конф. – Томск, 2021. – Ч. 2. – С. 77–84.
9. Krechetov I., Romanenko V. Adaptive Learning Technologies in TUSUR University // SEFI 48th Annual Conference Engaging Engineering Education Proceedings. – 2020. – P. 290–297.
10. Романенко, В.В. Совершенствование концепции и программной реализации системы адаптивного обучения / В.В. Романенко, И.А. Кречетов // Современные тенденции развития непрерывного образования: вызовы цифровой экономики : материалы Междунар. науч.-метод. конф. – Томск, 2020. – С. 97–99.

11. Кречетов, И.А. Результаты внедрения адаптивного электронного курса в учебный процесс / И.А. Кречетов, В.В. Романенко, М.Ю. Дорофеева, А.В. Дегтярев // Современное образование: качество образования и актуальные проблемы современной высшей школы : материалы Междунар. науч.-метод. конф. – Томск, 2019. – С. 116–118.

12. Кречетов, И.А. Раскрываем потенциал адаптивного обучения: от разработки до внедрения / И.А. Кречетов, М.Ю. Дорофеева, А.В. Дегтярев // eLearning Stakeholders and Researchers Summit : материалы Междунар. конф. – М., 2018. – С. 76–85.

13. Кречетов, И.А. Реализация и внедрение технологии адаптивного обучения в университете / И.А. Кречетов, В.В. Романенко // Современное образование: повышение профессиональной компетентности преподавателей вуза – гарантия обеспечения качества образования : материалы Междунар. науч.-метод. конф. – Томск, 2018. – С. 191–192.

14. Кречетов, И.А. Технология создания онлайн-курса с элементами адаптивного обучения / И.А. Кречетов // eLearning Stakeholders and Researchers Summit : материалы Междунар. конф. – М., 2017. – С. 14–21.

15. Кречетов, И.А. Принципы реализации технологии адаптивного обучения / И.А. Кречетов, С.А. Семенов // Современное образование: проблемы взаимосвязи образовательных и профессиональных стандартов : материалы Междунар. науч.-метод. конф. – Томск, 2016. – С. 117–118.

16. Кречетов, И.А. Аспекты организации адаптивного электронного обучения в вузе / И.А. Кречетов, О.Ю. Исакова, А.В. Городович // Современное образование: практико-ориентированные технологии подготовки инженерных кадров : материалы Междунар. науч.-метод. конф. – Томск, 2015. – С. 160–161.

17. Кречетов, И.А. Алгоритм генерации последовательности образовательных модулей в технологии получения адаптивного образовательного контента / И.А. Кречетов // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : материалы докл. II Междунар. Пospelовского симпозиума (ГИСИС'2014, 30 июня – 6 июля 2014 г., г. Светлогорск). – Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. – С. 200–206.

### ***Свидетельства о государственной регистрации программ ЭВМ:***

Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021612218. Система адаптивного обучения Nexbe / И.А. Кречетов, В.В. Романенко, А.З. Мазитов, А.В. Городович. – Заявка № 2021611335. Дата поступления 10 февраля 2021 г. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 12 февраля 2021 г.