



УДК 316.6

## Модель процесса адаптивного обучения и его программная реализация

**Поминов Д.А.\***

Московский государственный психолого-педагогический университет  
(ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1321-3713>  
e-mail: [pominovda@mgppu.ru](mailto:pominovda@mgppu.ru)

Представленный проект направлен на автоматизацию процесса электронного обучения, касающуюся приобретения практических навыков для решения неформализуемых задач, определения уровня знаний и сокращения продолжительности тестирования за счет уменьшения количества задач в зависимости от уровня подготовки. Для удовлетворения указанных выше требований был реализован подход адаптивного тестирования и реализован веб-сервис «Адаптивный тренажер» для демонстрации его работы.

**Ключевые слова:** адаптивное обучение, марковские случайные процессы, адаптивный тренажер, самообучающиеся системы, разработка информационных систем.

**Для цитаты:**

*Поминов Д.А.* Модель процесса адаптивного обучения и его программная реализация // Моделирование и анализ данных. 2020. Том 10. № 3. С. 39–52. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2020100303>

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке ФГБОУ ВО МГППУ в рамках проекта «Исследования по адаптивному обучению: разработка и внедрение веб-ресурса “Самообучающийся адаптивный тренажер для подготовки абитуриентов к экзаменам по математике” и новой концепции адаптивного обучения».

\***Поминов Денис Александрович**, младший научный сотрудник, факультет информационных технологий, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1321-3713>, e-mail: [pominovda@mgppu.ru](mailto:pominovda@mgppu.ru)



## ВВЕДЕНИЕ

В силу особенностей организации процесса обучения в школьных классах, зачастую ученикам не хватает времени урока на решение задач под контролем учителя. В результате прибегают к услугам репетиторов или к самообучению. Для осуществления самостоятельной подготовки в последние годы становятся популярными различные образовательные онлайн сервисы. У этих систем есть некоторые недостатки, одни из которых – это невозможность индивидуальной настройки под конкретного пользователя, неполная автоматизация, жесткая негибкая структура процесса тестирования. Существующие системы в области электронного обучения [13, 15, 17, 20] в основном решают более простые задачи. Это связано в первую очередь с отсутствием подходящего математического аппарата и сложностями в реализации подобных систем.

В данной работе предложен подход для решения подобных задач, основанный на концепте адаптивного обучения с использованием марковских процессов [2–3, 5–7, 10, 12, 18–19].

Этот подход является альтернативным адаптивным технологиям основанных на современной IRT (Item Response Theory) [14, 16, 22–24]. Базовый тезис сформулирован Г. Рашем [21]: вероятность правильного ответа на задание определяется различием в оценках сложности теста, уровня знаний, умений или других конструктов и выражается функцией сигмоидного типа. Практическое использование этой идеи имеет некоторые ограничения: статичность оценок, большое количество заданий, трудности при построении оценок и динамики времени, затраченного на решение задач.

Одна из главных проблем адаптивного выбора задач (основанных на оценках IRT) связана с примерным равенством вероятности правильного и неправильного выполнения задач. Это делает результаты тестирования в основном зависимыми от внешних и случайных факторов, которые не связаны с измеряемыми конструктами.

В 2010–2012 был разработан метод адаптивного тестирования [8–9, 11], основанный на использовании идентифицируемых марковских моделей с непрерывным временем и байесовским классификатором. В развитие этого результата в 2017 г. была предложена новая версия марковской модели адаптивного тестирования с дискретным временем [1], которая предполагает оценки конструктов с использованием предельных распределений вероятностей нахождения в состояниях, рассчитанных с использованием матриц вероятностей перехода. Этот подход можно рассматривать как расширение IRT, поскольку в качестве компонента используется модель Г. Раша.

Созданные марковские модели адаптивного тестирования стали основой для разработки адаптивного тренажера [4] для обучения неформализованным навыкам и умениям, необходимым для решения математических и других задач достаточно высокой сложности, требующих овладения как стандартной методикой построения рассуждений, так и элементами творческого мышления.

В первую очередь адаптивный тренажер считается наиболее эффективным в случаях, когда необходимо упорядочить полученные знания и навыки, например, для подготовки к экзаменам при решении неформализуемых задач (математические,

технические, алгоритмические и т.п.). Также важно заметить, что данный сервис не является заменой учителя, а скорее дополняет существующий процесс обучения, расширяя возможности самоподготовки.

## ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Подбор заданий во время тестирования осуществляется с помощью параметрических математических моделей, которые описываются марковскими случайными процессами с дискретными состояниями и непрерывным временем. Динамика изменения вероятностей пребывания в состояниях этих процессов определяется системой уравнений Колмогорова [4]:

$$\frac{dp(t)}{dt} = M(\lambda)p(t),$$

где  $0 \leq t \leq T$ ,  $p(t)$  – вероятности пребывания в состояниях процесса,  $\lambda$  – множество интенсивностей переходов между состояниями,  $M$  – матрица интенсивностей переходов между состояниями. Значения указанных интенсивностей определяются начальными распределениями вероятностей и наблюдаемыми частотами пребывания в состояниях  $F_{i,d} \{F_i\}_{i=0,\dots,n-1}$  в моменты времени  $\{t_d\}_{d=0,\dots,D-1}$ , где  $i$  – индексы состояний марковского процесса;  $D$  – количество моментов времени, в которые фиксировались частоты  $F_{i,d}$ ;  $0 \leq t_d \leq T$ ;  $T$  – конечный момент времени [5].

Для описания того, как вероятности нахождения в заданных состояниях изменяются со временем, применяются процессы, организованные по схеме, которая представлена на Рис. 1.

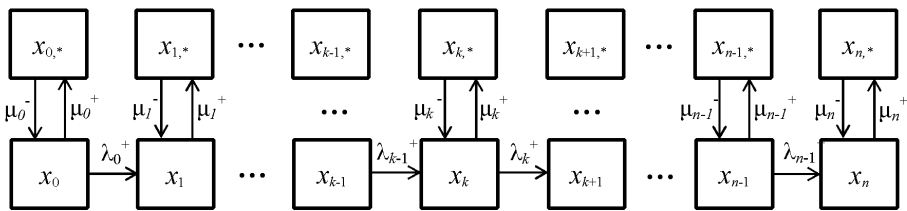


Рис. 1. Сеть Маркова, описывающая процесс тестирования с непрерывным временем:  $\{x_i\}_{i=0,\dots,n}$  и  $\{x_i^*\}_{i=0,\dots,n}$  – состояния марковского процесса,  $\lambda = (\lambda_0^+, \dots, \lambda_{n-1}^+, \mu_0^+, \dots, \mu_n^+, \mu_0^-, \dots, \mu_n^-)^T$  – интенсивности переходов между состояниями

Перемещения между состояниями сети Маркова (Рис. 1) определяются следующими правилами:

1. Если ученик находится в состоянии  $x_k$ , успешно выполнил задание и уложился по времени, то он переходит в состояние  $x_k^*$ ;
2. Если ученик находится в состоянии  $x_k$ , не выполнил задание, но уложился по времени, то он остается в состоянии  $x_k$ ;



3. Если ученик находится в состоянии  $x_k$ , успешно выполнил задание, но не уложился по времени, то он переходит в состояние  $x_{k*}$ ;
4. Если ученик находится в состоянии  $x_{k*}$ , правильно решает задание и не укладывается по времени или неправильно решает задание и укладывается по времени, то он остается в состоянии  $x_{k*}$ ;
5. Если ученик находится в состоянии  $x_{k*}$ , успешно выполнил задание и уложился по времени, то он переходит в состояние  $x_k$ .

Тренировка начинается с получения задания (выбирается случайно), которое соответствует минимальному уровню (состояние  $x_0$ ). Далее задания предъявляются в зависимости от того, как справляется с ними ученик. Например, если он быстро дает неправильные ответы, то сложность не повышается, и он остается на прежнем уровне; если он укладывается по времени и в основном дает правильные ответы, то сложность постепенно увеличивается. По завершению ученик оказывается в состоянии, которое соответствует его уровню навыка. Тренаж завершается по достижению лимита (общего времени на всю тренировку) или при успешном выполнении задания за отведенное время в конечном состоянии сети Маркова  $x_n$ .

Оценка вероятности нахождения в определенном состоянии (принадлежности к некоторому уровню подготовки) производится с помощью формулы Байеса:

$$P(S) = \frac{P(C_i)P(S|C_i)}{\sum_{k=0}^z P(C_k)P(S|C_k)},$$

где  $C_i$  – событие, связанное с наличием у тестируемого  $i$ -го уровня подготовки ( $i=0, \dots, z$ ),  $S$  – событие, связанное с нахождением в заданном состоянии модели в указанный момент времени при указанном уровне трудности заданий,  $P(C_i)$  – априорная вероятность появления  $i$ -го уровня подготовки у тестируемого,  $P(S|C_i)$  – вероятность нахождения в заданном состоянии эталонной модели в указанный момент времени при наличии  $i$ -го уровня подготовки,  $P(S)$  – вероятность  $i$ -го уровня подготовки при условии нахождения в заданном состоянии модели в указанный момент времени [5].

Более подробно математическая модель и принцип работы адаптивного тренажера и адаптивного тестирования представлены в работах [1–7, 10, 12, 18–19].

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОГО ТРЕНАЖЕРА

Программная реализация адаптивного тренажера условно делится на две части: интерфейсная (пользовательская) и серверная. Коммуникация и синхронизация информации между ними реализована с использованием технологии AJAX, JSON и API модуля, обрабатывающего входящие запросы. Серверная часть написана на языке программирования PHP и отвечает за обработку данных: получение задания, проверка правильности ответа, подсчет параметров математической модели (вероятностей) и т.п. Интерфейсная часть реализована с помощью веб фреймворка Laravel и reactJS. Также кроме интерфейса она имеет свою базу данных, где хранятся данные по сессии.



ям (время начала и конца тестирования, время на ответ, правильность ответа) и пользователям (логин, почта, пароль, роль). Таким образом, ядро адаптивного тренажера, включающее всю обработку и непосредственно саму базу данных заданий, отделено от реализации интерфейса, с которым взаимодействует пользователь.

Режим работы с тренажером следующий: пользователь регистрируется в системе, ему присваивается по умолчанию роль ученика, он авторизуется, после чего может выбрать раздел для тренировки. Перед началом тренажа пользователь может ознакомиться со справочной информацией, встроенной в тренажер, и узнать каким образом решать задания по выбранной теме. Каждый раздел делится на несколько содержательных уровней (по 4 в теме) и 3 сложности.

Во время прохождения тренажа интерфейс разделен на несколько блоков (Рис. 2): текст задания, варианты ответа, история прохождения (номер вопроса, трудность от 1 до 3, верный или неверный ответ), таймер, номер задания с указанием сложности. Пользователь непосредственно взаимодействует только с блоком ввода ответа (вид которого зависит от типа задания). По завершению решения задачи на сервер с помощью AJAX запроса отправляются данный учеником ответ вместе с идентификатором вопроса и временем, затраченным на решение. На стороне сервера происходит первичная обработка ответа (удаляются пробелы и спецсимволы и т.п.), и в зависимости от типа задания (точная сверка, дроби и вычисления, тригонометрия, интервалы, выбор из вариантов и пр.) проверяется его правильность с полученным из БД “Trainer” контрольным вариантом. Далее анализируется история прохождения тестирования в соответствии с правилами и моделью, которые рассматривались выше. В результате в качестве ответа сервер отправляет клиенту либо номер следующего задания, либо отметку о завершении тестирования.

0:09

Тренажер по математике

№1

Какой знак имеет произведение корней уравнения:  
 $x^2 + 3x - 4 = 0$ ?

Уровень 1

отрицательный

положительный

Рис. 2. Интерфейс адаптивного тренажера



По окончании тестирования пользователю будет отображено (Рис. 3): процент правильных ответов, время тренировки, сравнение с прошлой тренировкой (если такая была). Также он может ознакомиться с результатами всех остальных своих тренировок.

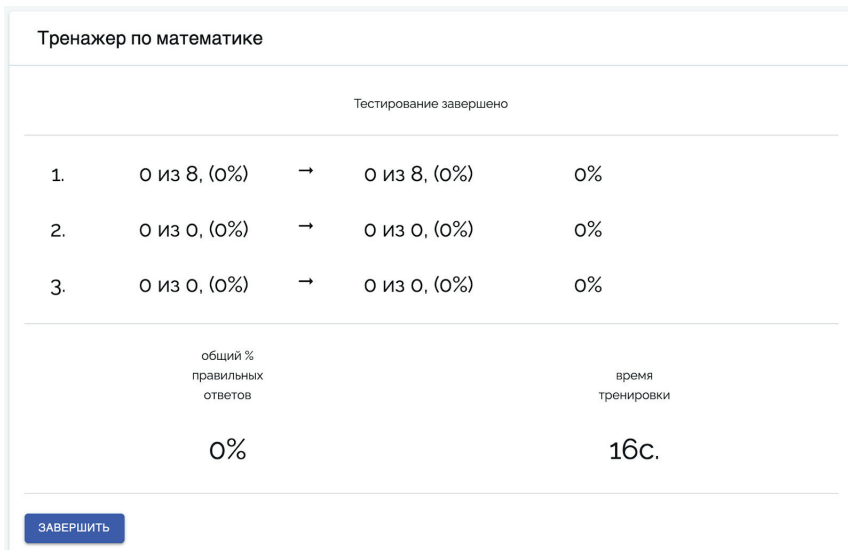


Рис. 3. Интерфейс адаптивного тренажера

В информационной системе тренажера определено 3 роли: ученик (student), преподаватель (teacher), администратор (admin).

Преподаватель может объединять учеников в группы, просматривать задания и статистику прохождения тестирования (Рис. 4, 5). Администратор выполняет вспомогательную роль (Рис. 6): сброс паролей, редактирование личной информации (логин, почта, имя), изменение роли пользователя.

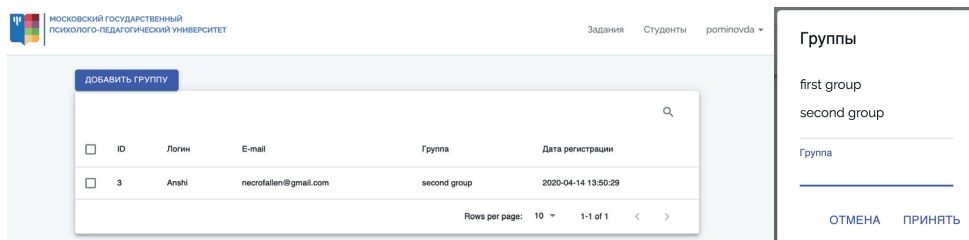


Рис. 4. Личный кабинет преподавателя



PREV NEXT CHECK Раздел Тека Сложно

Квадратные уравнения и н... Квадратное уравнение. Формула корней квадратного урав... 2 ▾

ID : 15      Статус : Проверено  
pos : 1      Section : Квадратные уравнения и неравенства  
2,3,2      Theme : Квадратное уравнение. Формула корней квадратного уравнения (Уровень - 3)

Решить уравнение  $x^2 + 4x - 5 = 0$ .

-5, 1

1, 5  
 -1, -5  
 -5, 1  
 3, 2

Рис. 5. Личный кабинет преподавателя

ID	Логин	E-mail	Роль	Дата регистрации		
<input type="checkbox"/>	1	admin	necrofallen@hotmail.com	admin	2019-04-24 09:14:05	Пользователь ID 2   pominovda Дата регистрации 2019-05-06 07:47:26
<input type="checkbox"/>	2	pominovda	pominovda@mgppu.ru	teacher	2019-05-06 07:47:26	Login name pominovda Email Address pominovda@mgppu.ru
<input type="checkbox"/>	3	Anshi	necrofallen@gmail.com	student	2020-04-14 13:50:29	Роль Преподаватель ▾

Rows per page: 10 ▾ 1-3 of 3 < >

ОТМЕНА ПРИНЯТЬ

Рис. 6. Личный кабинет администратора

Информационная система адаптивного тренажера предполагает отслеживание статистических данных по тренировкам (Рис. 7, Табл. № 1), например:

1. общее кол-во тренировок по каждому пользователю,
2. кол-во тренировок пользователя по теме,
3. распределение по пройденным темам и содержательным уровням.

Статистика тренировок					
#	Раздел	Кол-во вопросов	% правильных ответов	Время ( мин )	Дата
1	Текстовые задачи	12	7 ( 58,33% )	1,92	2019-06-13 14:23:23
2	Квадратные уравнения и неравенства	2	0 ( 0% )	0,18	2019-06-18 00:00:00
3	Квадратные уравнения и неравенства	1	0 ( 0% )	0	2019-06-18 00:00:00
4	Квадратные уравнения и неравенства	16	2 ( 12,5% )	2371,25	2019-06-18 09:04:00
5	Текстовые задачи	6	0 ( 0% )	0,97	2019-06-18 09:07:14

Рис. 7. Статистика по тренировкам.



Таблица 1

## Статистика по тренировкам

Сложность	1	2	3
Кол-во вопросов	2	9	0
% правильных ответов	50 %	11 %	0 %
Среднее время на ответ, с.	149	662	0
Пропуск ответа	1	6	0
Общее время тренажа	895 с (14 мин 55 сек)		

База данных делится на две части: БД Laravel Рис. 8 (вспомогательные системные таблицы, сессии, данные пользователей, данные тренировок, обратная связь, роли, группы), БД Trainer Рис. 9 (задания, разделы, содержательные уровни, коэффициенты, варианты проверки).

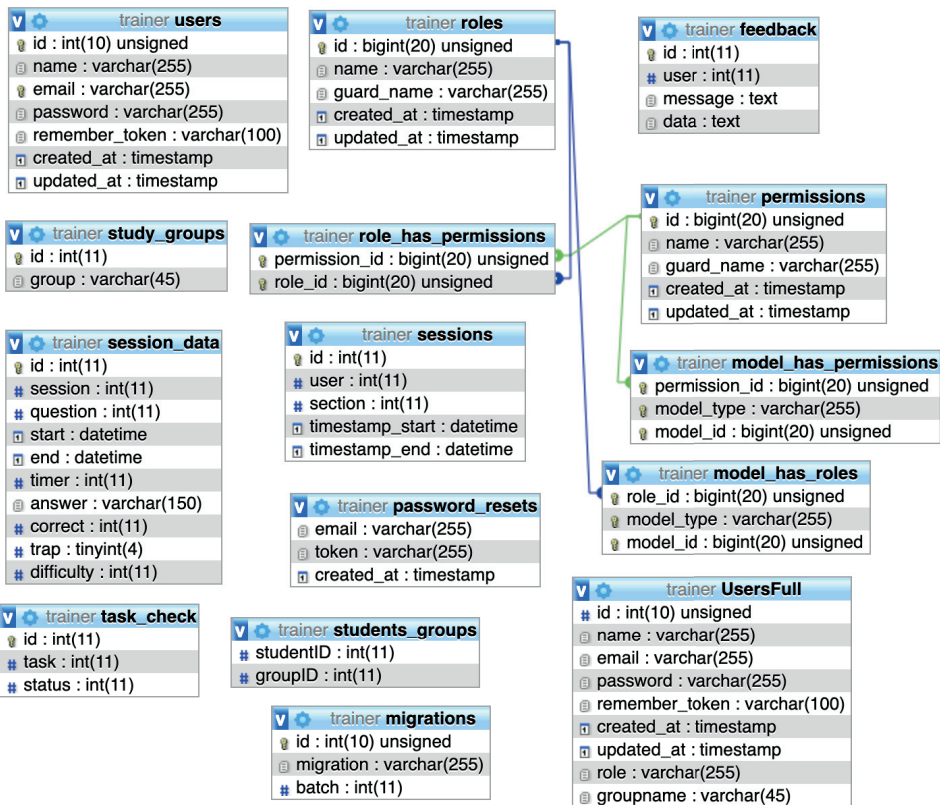


Рис. 8. Структура БД Laravel



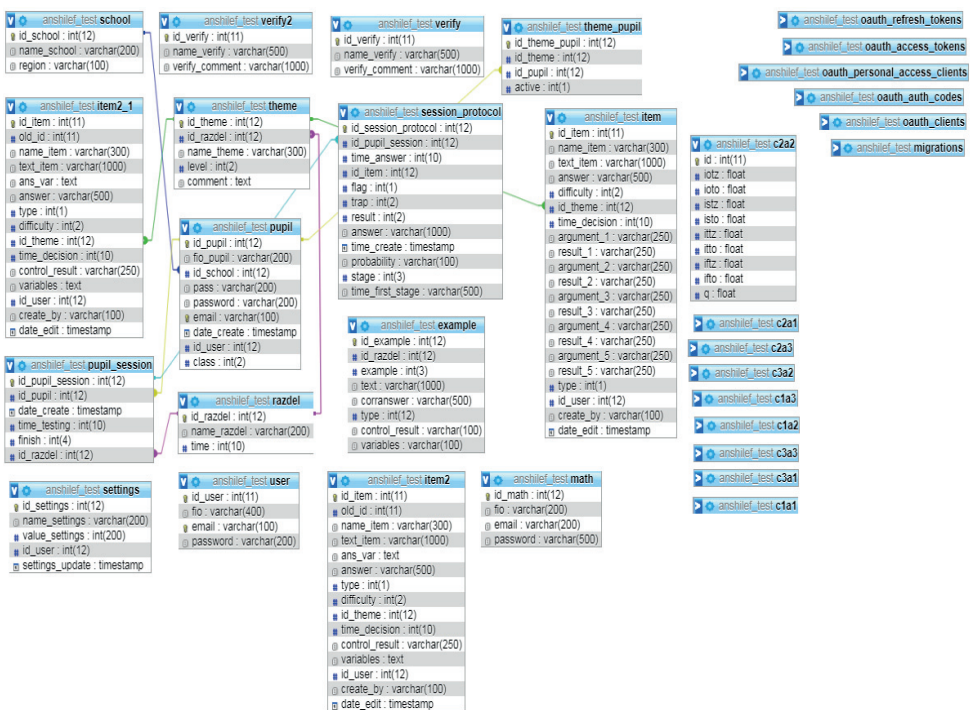


Рис. 9. Структура БД Trainer

Авторизация в системе адаптивного тренажера происходит с использованием БД “Laravel”, где хранятся данные пользователей и пароли в зашифрованном виде. Данные по доступным разделам загружаются с помощью Ajax запроса и ответа от сервера в формате JSON, который соответствует БД “Trainer”. Основными сущностями ее являются: razdel (список разделов), theme (содержательные уровни и справочная информация по каждому из них), item (данные по заданиям: текст задания, тип, ответ, сложность), c1a1 – c3a3 (матрицы коэффициентов), справочник типов заданий.

После выбора раздела и начала тестирования, система регистрирует новую сессию в БД Laravel. Каждой сессии (таблица sessions) соответствуют следующие данные: идентификатор, раздел, дата/время начала и завершения. Данные по прохождению тренировки записываются в таблицу session\_data: идентификатор сессии, идентификатор задания, время начала и завершения, время ответа в секундах, текст ответа, корректность (верно или неверно), нахождение в состоянии ловушки, сложность задания. По окончании тестирования или по достижению временного лимита в таблице sessions ставится отметка о завершении.

Для управления правами доступа к различным интерфейсам системы используют модуль для Laravel – Spatie и соответствующие сущности в БД: roles, permissions, model\_has\_permissions и др. Он позволяет гибко настраивать роли и права для каждой модели поведения пользователя информационной системы.



## ПРИМЕР РАБОТЫ АДАПТИВНОГО ТРЕНАЖЕРА

В качестве демонстрации работы адаптивного тренажера рассмотрим несколько сценариев использования, которые условно будут соответствовать разным уровням подготовки учеников: низкий, средний, высокий. Также рассмотрим состояние «ловушки», когда ученик не уложился в определенный интервал времени, отведенный на решение задачи. Сравнение тренировок представлено в Табл. 2.

Таблица 2

### Сравнение тренировок

№	Кол-во заданий по трудностям, верно/неверно			Состояние «ловушки»
	1	2	3	
1	0 из 8	0	0	нет
2	2 из 2	3 из 3	4 из 4	нет
3	5 из 5	3 из 3	4 из 4	В 1 вопросе
4	2 из 2	3 из 3	4 из 8	нет

В первом случае давались «быстрые» (укладываются в заданный промежуток времени в зависимости от сложности вопроса) неправильные ответы. При таком сценарии ученик остается на первом уровне сложности, ему предъявляются первые 8 заданий из начального содержательного уровня, после чего тренировка завершается без повышения трудности. Во втором случае, ученик дал 5 правильных ответов подряд на первом и втором уровне, уложившись в заданный промежуток времени. В результате тренажер дважды повысил трудность заданий до третьего самого высокого уровня. В третьем, также давались только правильные ответы, но в первом вопросе ученик вышел за отведенный интервал на решение (5 минут) и попал в состояние «ловушки». В результате количество заданий на первом уровне повысилось. В последнем сценарии затруднения возникли только на третьей трудности. Итоговое количество задание указано в Табл. 3.

Таблица 3

### Итоговое количество заданий по различным сценариям

№	Кол-во предъявленных заданий
1	8
2	9
3	12
4	13

Во всех случаях количество заданий напрямую зависит от уровня подготовки ученика. Также важно заметить, что для однозначного определения к некоторому классу (владения навыком) системе не требуется большое количество заданий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создана информационная система «Адаптивный тренажер для подготовки абитуриентов к экзаменам по математике» и новый подход к тестированию на основе марковских процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем.



Данный подход позволяет сократить время тренажа за счет уменьшения количества заданий и увеличить эффективность применения практических навыков в решении математических задач учениками школ при подготовке к экзаменам.

### *Литература*

1. *Куравский Л.С., Артеменков С.Л., Юрьев Г.А., Григоренко Е.Л.* Новый подход к компьютеризированному адаптивному тестированию // Экспериментальная психология. 2017. Т. 10. № 3. С. 3345. doi:10.17759/exppsy.2017100303
2. Патент на полезную модель № 118095 (РФ). Устройство для моделирования адаптивного тестирования когнитивных способностей испытуемого / *Л.С. Куравский, С.Д. Кулик, П.А. Мармалюк, Г.А. Юрьев.* Заявка № 2012105993/08, 21.02.2012; Зарегистр. 10.07.2012; Опубликовано 10.07.2012 Бюл. № 19; Приоритет от 21.02.2012(РОСПАТЕНТ).
3. *Куравский Л.С., Марголис А.А., Мармалюк П.А., Юрьев Г.А., Думин П.Н.* Обучаемые марковские модели в задачах оптимизации порядка предъявления психологических тестов // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2013. № 4. С. 28–38.
4. *Куравский Л.С., Марголис А.А., Мармалюк П.А., Панфилова А.С., Юрьев Г.А.* Математические аспекты концепции адаптивного тренажера // Психологическая наука и образование. 2016. Т. 21. № 2. С. 84–95. doi: 10.17759/pse.2016210210.
5. *Куравский Л.С., Марголис А.А., Юрьев Г.А., Поминов Д.А.* Концепция самообучающегося адаптивного тренажера // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2018. № 3. С. 29–37.
6. Патент на полезную модель № 122796 (РФ). Система поддержки принятия решений для психологического и педагогического тестирования / *Л.С. Куравский, А.А. Марголис, П.А. Мармалюк, Г.А. Юрьев, П.Н. Думин, С.Д. Кулик.* Заявка № 2012132684/08, 31.07.2012; Опубликовано 10.12.2012, Бюл. № 34; Приоритет от 31.07.2012 (РОСПАТЕНТ).
7. *Куравский Л.С., Марголис А.А., Юрьев Г.А., Мармалюк П.А.* Концепция системы поддержки принятия решений для психологического тестирования // Психологическая наука и образование. 2012. № 1. С. 5665.
8. *Куравский Л.С., Юрьев Г.А.* Адаптивное тестирование как марковский процесс: модели и их идентификация // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2011. № 2. С. 2129.
9. *Куравский Л.С., Юрьев Г.А.* Вероятностный метод фильтрации артефактов при адаптивном тестировании // Экспериментальная психология. 2012. Т. 5. № 1. С. 119131.
10. *Куравский Л.С., Юрьев Г.А.* Использование марковских моделей при обработке результатов тестирования // Вопросы психологии. 2011. № 2. С. 98107.
11. *Куравский Л.С., Юрьев Г.А.* Об одном подходе к адаптивному тестированию и устранению его артефактов // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2012. № 1.
12. Марковские модели в задачах диагностики и прогнозирования: Учеб. пособие / Под ред. Л.С. Куравского. Изд. 2-е, доп. М.: Изд-во МГППУ. 2017. 203 с.
13. 1С: Электронное обучение [Электронный ресурс] // URL: <http://v8.1c.ru/elo> (дата обращения 06.02.2016).
14. *Baker F.B.* The Basics of Item Response Theory // ERIC Clearinghouse on Assessment and Evaluation. University of Maryland, College Park. MD. 2001.
15. Ebmodo [Электронный ресурс] // Connect with students and parents in your paperless classroom. URL: <https://www.edmodo.com> (дата обращения 03.02.2016).
16. *Gregory R.J.* Psychological testing: History, principles, and applications (5th edition). New York: Pearson. 2007.
17. *Kats Y.* Learning Management Systems and Instructional Design: Best Practices in Online Education. IGI Global. 2013. ISBN 9781466639317



18. Kuravsky L.S., Marmalyuk P.A., Yuryev G.A., Dumin P.N. A Numerical Technique for the Identification of Discrete-State Continuous-Time Markov Models // *Applied Mathematical Sciences*. 2015. V. 9. № 8. P. 379–391. URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2015.410882>.
19. Kuravsky L.S., Marmalyuk P.A., Baranov S.N., Alkhimov V.I., Yuryev G.A., Artyukhina S.V. A New Technique for Testing Professional Skills and Competencies and Examples of its Practical Applications // *Applied Mathematical Sciences*. 2015. V. 9. № 21. P. 1003–1026. <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2015.411899>.
20. Moodle open-source learning platform [Электронный ресурс] // Moodle Pty Ltd. URL:<https://moodle.org> (дата обращения 03.02.2016).
21. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence and attainment tests // Copenhagen, Danish Institute for Educational Research, expanded edition (1980) with foreword and afterword by B.D. Wright. Chicago: The University of Chicago Press. 1960/1980.
22. Thompson N.A., Weiss D.J. A framework for the development of computerized adaptive tests // *Practical Assessment, Research & Evaluation*. 2011. № 16(1). P. 19.
23. de la Torre J., Patz R.J. Making the Most of What We Have: A Practical Application of Multidimensional Item Response Theory in Test Scoring // *Journal of Educational and Behavioral Statistics*. 2005. № 30(3). P. 295311. doi:10.3102/10769986030003295.
24. Wright B.D., Masters G.N. Rating scale analysis. Rasch measurements // Chicago: MESA Press. 1982. 206 p.



# Model of Adaptive Learning and His Implementation

**Denis A. Pominov\***

Moscow State University of Psychology and Education, Moscow, Russia,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1321-3713>  
e-mail: [pominovda@mgppu.ru](mailto:pominovda@mgppu.ru)

The presented project is aimed at automating the e-learning process regarding the acquisition of practical skills for solving non-formalized tasks, determining the level of knowledge and reducing the duration of training by reducing the number of tasks depending on the level of training. To meet these requirements, an adaptive testing approach was implemented and “Adaptive trainer” web-service was implemented to demonstrate how it works.

**Keywords:** adaptive training, markov random process, adaptive trainer, self-learning systems, information systems implementation.

## For citation:

Pominov D.A. Model of Adaptive Learning and His Implementation. *Modelirovanie i analiz dannyykh = Modelling and Data Analysis*, 2020. Vol. 10, no. 3, pp. 39–52 . DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2020100303> (In Russ., abstr. in Engl.).

**Funding.** This work has been funded by the Moscow State University of Psychology and Education.

## References

1. Kuravsky L.S., Artemenkov S.L., Yuriev G.A., Grigorenko E.L. New approach to computer-based adaptive testing. – *Experimental Psychology*. 2017. Vol. 10. No. 3. Pp. 33–45. doi:10.17759/expsy.2017100303 (in Russian).
2. Kuravsky L.S., Kulik S.D., Marmalyuk P.A., Yuriev G.A. Certificate of state registration of the useful model № 118095 A device for modeling adaptive testing of cognitive abilities of the subject. – Application № 2012105993/08; decrealed 21 February 2012; registered 10 July 2012. – (ROSPATENT).
3. Kuravsky L.S., Margolis A.A., Marmalyuk P.A., Yuriev G.A., Dumin P.N. Trainable Markov models in tasks of optimization of the order of presentation of psychological tests // *Neurocomputers: Development and Application*. 2013. No. 4. pp. 28–38 (in Russian).
4. Kuravsky L.S., Margolis A.A., Marmalyuk P.A., Panfilova A.S. , Yuriev G.A. Mathematical aspects of the adaptive trainer concept – *Psychological Science and Education*. 2016. Vol. 21. No. 2. Pp. 84–95. doi: 10.17759/pse.2016210210 (in Russian).
5. Kuravsky L.S., Margolis A.A., Yuriev G.A., Pominov D.A. Concept of self-learning adaptive trainer // *Neurocomputers: Development and Application*. 2018. No 3. pp. 29–37 (in Russian).

\***Denis A. Pominov**, Research Scholar, Computer Science Faculty, Moscow State University of Psychology and Education, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1321-3713>, e-mail: [pominovda@mgppu.ru](mailto:pominovda@mgppu.ru)



6. Kuravsky L.S., Margolis A.A., Marmalyuk P.A., Yuriev G.A., Dumin P.N., Kulik S.D. Certificate of state registration of the useful model № 122796 Decision support system for psychological and pedagogical testing. – Application № 2012132684/08; decreaded 31 July 2012; registered 10 December 2012. – (ROSPATENT).
7. Kuravsky L.S., Margolis A.A., Yuriev G.A., Marmalyuk P.A. Concept of a system of support in decision making for psychological testing. – Psychological science and education, No. 1, 2012, pp. 56–65 (in Russian).
8. Kuravsky L.S., Yuriev G.A. Adaptive testing as a Markovian process: models and their identification. – Neurocomputers: Development and Application, No. 2, 2011, pp. 21–29 (in Russian).
9. Kuravsky L.S., Yuriev G.A. Probabilistic method of filtering artefacts in adaptive testing. – Experimental Psychology, Vol.5, No. 1, 2012, pp. 119–131 (in Russian).
10. Kuravsky L.S., Yuriev G.A. Use of Markov models in processing testing results. – Psychology Issues, No. 2, 2011, pp. 98–107 (in Russian).
11. Kuravsky L.S., Yuriev G.A. About an approach to adaptive testing and eliminating its artefacts. // Neurocomputers: Development and Application, No. 1, 2012 (in Russian).
12. Markov models in diagnostics and forecasting tasks: Study Guide. // Edited by L.S. Kuravsky. – 2nd edition, enlarged -Moscow: Publishing House of the Moscow State University of Psychology and Education, 2017. 203 p. (in Russian).
13. 1C: E-learning [Web resource] // URL: <http://v8.1c.ru/elo> (In Russian).
14. Baker F.B. The Basics of Item Response Theory // ERIC Clearinghouse on Assessment and Evaluation. University of Maryland, College Park. MD. 2001.
15. Edmodo [Web resource] // Connect with students and parents in your paperless classroom. URL: <https://www.edmodo.com>.
16. Gregory R.J. Psychological testing: History, principles, and applications (5th edition). New York: Pearson. 2007.
17. Kats Y. Learning Management Systems and Instructional Design: Best Practices in Online Education. IGI Global. 2013. ISBN 9781466639317
18. Kuravsky L.S., Marmalyuk P.A., Yuryev G.A., Dumin P.N. A Numerical Technique for the Identification of Discrete-State Continuous-Time Markov Models // Applied Mathematical Sciences. 2015. V. 9. № 8. P. 379–391. URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2015.410882>.
19. Kuravsky L.S., Marmalyuk P.A., Baranov S.N., Alkhimov V.I., Yuryev G.A., Artyukhina S.V. A New Technique for Testing Professional Skills and Competencies and Examples of its Practical Applications // Applied Mathematical Sciences. 2015. V. 9. № 21. P. 1003–1026. <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2015.411899>.
20. Moodle open-source learning platform [Web resource] // Moodle Pty Ltd. URL:<https://moodle.org> (дата обращения 03.02.2016).
21. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence and attainment tests // Copenhagen, Danish Institute for Educational Research, expanded edition (1980) with foreword and afterword by B.D. Wright. Chicago: The University of Chicago Press. 1960/1980.
22. Thompson N.A., Weiss D.J. A framework for the development of computerized adaptive tests // Practical Assessment, Research & Evaluation. 2011. № 16 (1). P. 19.
23. de la Torre J., Patz R.J. Making the Most of What We Have: A Practical Application of Multidimensional Item Response Theory in Test Scoring // Journal of Educational and Behavioral Statistics. 2005. № 30(3). P. 295311. doi:10.3102/10769986030003295.
24. Wright B.D., Masters G.N. Rating scale analysis. Rasch measurements // Chicago: MESA Press. 1982. 206 p.