

# МОДЕЛИРОВАНИЕ НАУЧЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ ОСНОВАМ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

**Д.И. Гребенков**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*  
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65  
E-mail: grebenkov-d-i@mail.ru

**О.Г. Андрианова**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*  
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65  
E-mail: andrianovaog@gmail.com

**Д.В. Лемтюжникова**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*  
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65  
E-mail: darabbt@gmail.com

**А.А. Тутуров**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*  
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65  
E-mail: tuturov@mail.ru

**Ключевые слова:** научение, теория управления, искусственная нейронная сеть.

**Аннотация:** В рамках проекта по моделированию динамики научения школьников планируется определить зависимость вида и параметров кривой научения от объекта и субъекта исследования. Под научением понимается процесс и результат приобретения индивидуального опыта. Объектом исследования являются подготовленные тексты по основам теории управления. Субъектом исследования являются школьники, незнакомя с темой текстов. Для выполнения данного проекта в школах будет проведена серия коротких мастер-классов, которая позволит собрать необходимые статистические данные по научению школьников. Также планируется разработать нейросетевые модели для генерации ответов на вопросы по прочитанному тексту на основании имеющихся знаний (предварительного обучения на материалах школьной программы). По качеству ответов на эти вопросы будет проведена оценка «понимания» текста искусственной нейронной сетью. Использование этой разработки может помочь изучить принципы научения и, таким образом, предоставить данные для улучшения процесса управления научением.

## 1. Введение

Научение в общем случае определяется как процесс и результат приобретения индивидуального опыта. Психологи рассматривают научение как процесс устойчивого целесообразного изменения физической и психической деятельности, которое возникает благодаря предшествующей деятельности, а не вызывается непосредственно врожденными физиологическими реакциями организма. Выделяют два уровня научения (рефлекторный и когнитивный), а в рамках этих уровней – разные виды научения (например, сенсорное научение и научение знаниям) [1].

Существует несколько работ, посвященных описанию общих моделей научения и изучению его закономерностей [2-4]. Так, в работе [2] описаны и исследованы математические модели итеративного научения. Итеративное научение – многократное повторение обучаемой системой действий, проб и попыток для достижения фиксированной цели при постоянных внешних условиях. Примерами итеративного научения могут послужить процессы формирования навыков человека и условных рефлексов у животных.

В книге [4] описывается общая модель человеческой деятельности, а также ее частные случаи: действие и результат деятельности, опыт и технологии деятельности, внутреннее состояние субъекта деятельности и используемые ресурсы. Предлагается общая вероятностная модель, описывающая формирование и освоение индивидуального, коллективного и общественного опыта на различных уровнях человеческой деятельности, рассматривается ряд ее частных случаев, охватывающих многие известные в математической психологии модели научения.

В нашей работе будет описан частный случай на основании моделей из [4], а также эксперимент, позволяющий собрать данные для построения кривых научения на практике.

## 2. Научение: модель, эксперимент, развитие

### 2.1. Математическая модель

Для пояснения того, что понимается под «кривыми научения», введем несколько основных понятий.

Пусть в каждой итерации субъект наблюдает одно из  $K$  возможных значений фактора неопределенности. Обозначим через  $p_k > 0$  вероятность того, что субъекту на очередной итерации будет предъявлено  $k$ -е состояние фактора неопределенности. Состояние процесса научения после  $t$ -й итерации будем описывать  $K$ -мерным вектором  $v_t = (v_{1t}, v_{2t}, \dots, v_{Kt})$ , каждый из элементов  $v_{kt}$  которого принимает значение 1 или 0, если  $k$ -е состояние фактора неопределенности было освоено или не освоено соответственно.

Значением уровня научения  $L(t)$  будем считать вероятность того, что для субъекта реализуется встречавшееся ему ранее и успешно освоенное значение фактора неопределенности, в результате получаем формулу (1):

$$(1) \quad L(t) = \sum_{k=1}^K p_k \cdot v_{kt}.$$

Последовательность значений уровня научения называется кривой научения.

На основании частного случая модели из [4] была сформулирована следующая формула расчета уровня научения (2):

$$(2) \quad L(t) = 1 - \frac{1}{t} \prod_{i=1}^t \left( \sum_{j=1}^K (1 - (w_j^{\text{после}} - w_j^{\text{до}})) \right),$$

где  $w_j$  — оценка понимания субъектом текста по  $j$ -й теме до или после ее объяснения.

На основании определения понятия уровня научения и его описания в рамках эксперимента (см. раздел 2.2) была предложена формула (3):

$$(3) \quad L(t) = 1 - \prod_{i=1}^t (1 - w_i),$$

где  $w_i$  — оценка понимания субъектом текста по  $i$ -й теме.

Оценку освоения текста предлагается проводить по формуле (4):

$$(4) \quad w_i = \frac{x_i^{\text{после}} - x_i^{\text{до}}}{x_i^{\text{общ.}}},$$

где  $x_i^{\text{до}}$  — количество терминов, отмеченных в  $i$ -м тексте как понятные до объяснения,  $x_i^{\text{после}}$  — количество терминов, отмеченных в  $i$ -м тексте как понятные после объяснения,  $X_i^{\text{общ}}$  — общее количество терминов в  $i$ -м тексте.

## 2.2. Мастер-классы

Для сбора статистических данных по обучению школьников планируется организация серии коротких мастер-классов, посвященных изучению основ теории управления. Проведение мастер-класса будет построено следующим образом.

Сначала школьникам предлагается прочитать текст, относящийся к теории управления, и отметить термины, которые им были не вполне ясны. Далее происходит обучение: школьникам объясняется материал по теории управления. После этого ученикам предлагается разметить другой (такого же уровня сложности) текст по теории управления, снова отметив непонятные термины. Пример разметки можно увидеть на рис. 1.

Достоинством принципа обратной связи является его универсальность, возможность его использования в условиях отсутствия информации о возмущающих воздействиях. Действительно, для его реализации не надо знать, какие возмущения действуют на систему управления и чем вызвано отклонение управляемой переменной от требуемого значения.

Принцип обратной связи широко используется в технике, а также присущ живым организмам и обществу. Так, например, установлено, что, когда человек берет какой-либо предмет, управление кистью его руки производится по принципу обратной связи. Рыночная экономика представляет собой систему управления, функционирующую по принципу обратной связи. В данной системе регулятором, работающим по принципу обратной связи, является рынок, который определяет дисбаланс между предложением и спросом и воздействует на производство того или иного товара.

Недостатком способа управления по отклонению является принципиальная невозможность полной компенсации возмущающих воздействий. Это связано с тем, что при этом способе управления управляющее воздействие начинает вырабатываться и оказывать влияние на ход процесса управления только после того, как возмущение, начав действовать, вызывает отклонение управляемой величины от требуемого режима. Кроме того, следует отметить, что система управления с обратной связью может оказаться неустойчивой, хотя объект управления устойчив.

**Рис. 1.** Пример размеченного текста по теории управления. Подчеркнуто то, что субъект посчитал термином. Желтым цветом отмечены непонятные термины, зеленым — понятные. Текст для примера был взят из [5].

Тексты для проведения мастер-классов планируется отбирать по приведенным ниже правилам.

Во-первых, с темой текстов школьники не должны быть знакомы заранее: количество известных им изначально понятий теории управления должно быть минимальным.

Во-вторых, тексты должны получиться примерно одного уровня сложности и в рамках одного мастер-класса содержать один и тот же список понятий.

В-третьих, для разных мастер-классов должны быть подготовлены тексты, одинаково углубленные в тему и не подразумевающие ознакомленность с текстами предыдущих мастер-классов.

### 2.3. Моделирование научения с помощью искусственного интеллекта

В дальнейшем по собранным статистическим данным будут разрабатываться модели на основе искусственных нейронных сетей для воспроизведения процесса научения. Планируется использование систем, предназначенных для составления вопросов к текстам, а также для генерации ответов на основании имеющихся знаний (предварительного обучения на материалах школьной программы и поданного на вход текста). По качеству предоставленных ответов на эти вопросы будет проведена оценка «понимания» текста искусственной нейронной сетью (аналогично оценке школьников в результате проведения мастер-классов).

Для этой задачи выбраны следующие варианты архитектуры искусственных нейронных сетей: разновидность рекуррентной нейронной сети (RNN) с долгой краткосрочной памятью (LSTM) и архитектура Transformer [6] (возможно, улучшенная механизмом поиска информации — retrieval-enhanced, например, как описано в [7]).

Проведенные оценки будут обрабатываться аналогично оценкам школьников на мастер-классах. На основании полученных результатов также могут быть построены кривые научения. Степень их близости к настоящим данным можно будет оценить при помощи статистики, собранной в ходе проведения мастер-классов.

## 3. Заключение

В результате выполнения проекта по моделированию научения ожидается при помощи проведения описанного эксперимента с несколькими группами школьников получить статистические данные, необходимые для расчета параметров кривых научения. Этот результат планируется использовать для выявления зависимости уровня научения от особенностей как субъектов, так и предъявляемых текстов, что в свою очередь предоставит возможности для улучшения процесса управления обучением.

Стоит отметить, что приведенные в работе формулы для расчета уровня научения подразумевают только экспоненциальный тип кривой научения и могут быть доработаны и улучшены по мере проведения экспериментов. В качестве одного из направлений развития проекта предлагается использование более общих моделей, открывающих возможности воспроизведения других классических для теории научения разновидностей кривых.

Как одно из улучшений представленных моделей также рассматривается модификация формулы расчета оценки понимания текста (4) путем добавления терминам веса, рассчитанного, например, при помощи часто используемой в задачах интеллектуального анализа текстов меры TF-IDF [8].

Широкие перспективы открываются при использовании искусственных нейронных сетей для моделирования процесса научения школьников. Одним из возможных применений данной разработки является воспроизведение эксперимента с текстами по другой тематике без необходимости привлечения больших групп разметчиков.

## Список литературы

1. Ительсон Л.Б. Лекции по современным проблемам психологии обучения. Владимир, 1972. 264 с.
2. Новиков Д.А. Закономерности итеративного научения. М.: Институт проблем управления РАН, 1998. 77 с.
3. Белов М.В., Новиков Д.А. Модели технологий. М.: Ленанд, 2019. 160 с.
4. Белов М.В., Новиков Д.А. Модели деятельности (основы математической теории деятельности). М.: Ленанд, 2021. 216 с.

5. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 288 с.
6. Vaswani A., et al. Attention is all you need // Advances in neural information processing systems. 2017. Vol. 30.
7. Borgeaud S., et al. Improving language models by retrieving from trillions of tokens // International conference on machine learning. PMLR, 2022. P. 2206-2240.
8. Rajaraman A., Ullman J. D. Mining of massive datasets. Cambridge University Press, 2011.