

## Методика прогнозирования результатов обучения учащихся на основе нейронных сетей

Д. А. Денисовец,  
аспирант,  
Могилевский государственный университет  
имени А. А. Кулешова

*Развитие информационного общества предполагает широкое применение в учебном процессе информационно-коммуникационных технологий. По мере совершенствования системы образования принятие обоснованных дидактических и воспитательных решений требует все более глубоких методов анализа и более совершенных прогностических моделей.*

Учебная деятельность учащихся должна быть организована так, чтобы постоянно поддерживалась мотивация к изучению. На современном этапе обучение должно проводиться таким образом, чтобы у учащихся пробуждался интерес к знаниям, формировалась потребность в более полном и глубоком их усвоении, развивались инициатива и самостоятельность в работе.

Совокупность различных индивидуальных особенностей обучаемых является одним из базовых факторов, определяющих продуктивность обучения.

Устойчивость памяти и быстрота умозаключений составляют главное содержание любого интеллекта. В частности, в работе [2] акцентируется внимание на том факте, что формализация данного содержания в простейшем случае может быть проведена с помощью коэффициента забывания  $F$  и коэффициента умозаключения  $C$ . Эти коэффициенты образуют двумерный вектор интеллекта учащегося  $(F, C)$ , который определяет эффективность процесса обучения.

Современные информационно-образовательные среды позволяют работать с каждым учащимся индивидуально, учитывая его особенности, в связи с чем актуальна разработка информационно-образовательных сред с использованием нейронных сетей и возможностей автоматизации проверки творческих заданий, которые открывают новый этап в реализации индивидуального подхода к учащимся в процессе обучения.

Разработанная автором статьи интегрированная система обучения высшей математике включает четыре блока:

1. Теоретико-практический (теоретические и практические сведения учебной дисциплины).
2. Технологический (построение модели индивидуальных характеристик с помощью диагностики личностных характеристик учащихся).
3. Аналитико-прогностический (ориентирует на анализ, планирование и прогноз обучения).
4. Управленческий.

Для прогнозирования значений оценки знаний и умений для каждого конкретного обучаемого необходимо спроектировать нейросетевую модель, содержащую определенные входные параметры. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными и выходными данными, а также выполнять обобщение. После обучения нейронная сеть способна предсказать будущее значение некоторой последовательности на основе нескольких предыдущих значений.

На сегодняшний день искусственные нейронные сети в образовании используются крайне редко. Однако сбор информации и ее анализ позволяют применять аппарат искусственных нейронных сетей при тестировании обучаемых.

При решении прикладной задачи с помощью нейронной сети необходимо:

- определить тип решаемой задачи;
- выявить входные и выходные данные в задаче;
- нормализовать данные под выбранную нейронную сеть;
- экспериментально подобрать параметры;
- обучить нейронную сеть;
- проверить качество работы нейронной сети;
- проанализировать количество ошибок на общее число проверок.

Применение технологий нейронных сетей для формирования индивидуальных траекторий обучения и процесс конструирования нейросетевых обучающих систем изучены недостаточно, что и обусловило актуальность данной статьи.

На основании факторов, влияющих на портрет учащегося, впервые определенных в работе О. И. Федяева [3], была разработана модель обучаемого, способная описать зависимость получаемых учащимся профессиональных знаний и умений от факторов, которые влияют на полноту этих знаний, и обучена нейронная сеть, позволяющая прогнозировать результаты обучения учащихся.

Автором построена и исследована трехслойная полносвязная нейронная сеть, на основании которой можно получить прогнозируемое значение оценки знаний и умений для каждого конкретного обучаемого.

**Модель обучаемого и модель знаний обучаемого**

С точки зрения организации процесса обучения и прогнозирования в явном виде знаний и умений обучаемого, полученных им после изучения учебной дисциплины, необходимо иметь модель знаний обучаемого о предметной области (входные знания по математике) и модель его индивидуальных характеристик (знания об обучаемом).

$$M_0 = F(MZ_0; Мих), \tag{1}$$

где  $M_0$  – модель обучаемого;  $MZ_0$  – модель знаний обучаемого;  $Мих$  – модель индивидуальных характеристик учащихся.

Модель обучаемого определяется нами как функционал  $F$ , зависящий от векторов  $MZ_0$  и  $Мих$ . Модель знания обучаемого включает в себя отметку по одному

профильному предмету (математике), выставленную в аттестат об общем среднем образовании.

В процессе исследования свойств и характеристик обучаемого были выделены следующие параметры: тип мышления, уровень усвоения знаний, оптимальная стратегия получения знаний, образующие многомерные векторы психологического портрета обучающегося, которые далее разделяются на кластеры для проведения обучения нейронной сети на начальном этапе [1, с. 17].

К модели предметно-независимых характеристик относятся такие характеристики, как пол, возраст, образование, а также характеристики, отражающие внутреннее состояние обучаемого: эмоциональная настроенность на обучение, тип эмоциональной возбудимости, скорость реакции на выполнение задания и т. д.

В работе О. И. Федяева [3] были проанализированы, а затем выделены типы факторов, которые влияют на ментальный портрет учащегося.

Анализ факторов, влияющих на усвоение материала учащимся, позволит изучить личность обучаемого с разных сторон, выявить наиболее важные особенности, влияющие на успешность обучения.

На основании обобщения результатов О. И. Федяева нами построена модель индивидуальных характеристик для тестирования обучаемых по модифицированной схеме (таблица 1).

1. Для определения уровня мотивации использовались два теста:

- тест А. И. Божович, И. К. Марковой «Лесенка побуждений», позволяющий определить уровень учебной деятельности, а именно подсчитать количество познавательных мотивов, занимающих четыре первых места в иерархии мотивов ( $x_1$ );
- тест Герчикова, содержащий 23 задания ( $x_2$ ).

Таблица 1

**Факторы, влияющие на усвоение материала учащимся**

Факторы, влияющие на усвоение материала учащимся	Характеристика	Способ определения	Оригинальная градация	Входной сигнал нейронной сети
<b>Модель обучаемого</b>				
Мотивация	Уровень мотивации 1	Мотивы учебной деятельности (А. И. Божович, И. К. Марковой)	5 групп мотивации	$x_1$
	Уровень мотивации 2	Тест Герчикова	5 видов мотивации	$x_2$
Интеллектуальные особенности	Уровень интеллекта	Тест на IQ Айзенка	От 0 до 160 баллов	$x_3$
	Уровень вычислительных способностей	Вычислительный вводный тест	От 0 до 10 баллов	$x_4$
	Умение работать в команде	Самостоятельное определение	От 0 до 100 %	$x_5$
	Специальные способности	Тест Айзенка по трем видам специальных способностей	От 0 до 150 баллов	$x_6$
Психологические особенности	Тип темперамента	Тест Айзенка «Тип темперамента»	4 вида темпераментов	$x_7$
	Уровень креативности	Тест Торренса	От 0 до 70 и более баллов	$x_8$
Физические факторы	Жилищные условия	Самостоятельное определение	От 0 до 100 %	$x_9$
	Состояние здоровья	Самостоятельное определение	От 0 до 100 %	$x_{10}$
Волевая готовность	Уровень воли	Тест «Самооценка силы воли»	От 0 до 30 баллов	$x_{11}$
Модель знаний обучаемого о предметной области	Отметка по математике	Аттестат об общем среднем образовании	От 0 до 10 баллов	$x_{12}$

2. Для определения интеллектуальных способностей каждого учащегося использовались четыре теста:

- тест на IQ Айзенка (40 вопросов в тесте на 30 минут);
- вычислительный вводный тест, содержащий 20 заданий на вычисления, каждое из которых оценивалось по 0,5 балла (позволяет определить уровень вычислительных способностей по 10-балльной шкале ( $x_4$ ));

- тест на определение умения работать в команде ( $x_5$ ), где каждый учащийся самостоятельно выставлял количество процентов от 0 до 100 %;

- тест Айзенка по трем видам специальных способностей (оценивались от 0 до 150 баллов ( $x_6$ )).

3. Для определения психологических особенностей каждого учащегося использовались два теста:

- тест Айзенка на определение типа темперамента, на основании результатов которого каждому учащемуся был присвоен код: 1 – сангвиник, 2 – холерик, 3 – флегматик и 4 – меланхолик ( $x_7$ );

- тест Торренса на определение уровня креативности ( $x_8$ ).

4. Для определения физических факторов, таких как жилищные условия ( $x_9$ ) и состояние здоровья ( $x_{10}$ ), проводился опрос, во время которого учащийся самостоятельно выставлял количество процентов: от 0 до 100 %.

5. Для определения волевой готовности использовался тест «Самооценка силы воли», содержащий 15 заданий, каждое из которых оценивалось от 0 до 30 баллов ( $x_{11}$ ).

Для определения модели обучаемого было проведено анкетирование сотрудников колледжа, которые ведут занятия на данном потоке и не знают результатов тестирования учащихся: для каждого учащегося было выставлено конкретное число  $y_i (i = 1, 2, \dots, 9)$ , характеризующее обобщенные данные модели обучаемого, определенное  $i$ -м преподавателем, принимающее значения от 0,2 до 1 с шагом 0,1. Модель конкретного обучаемого определялась как среднее арифметическое:

$$M_0 = \frac{\sum_{i=1}^k y_i}{k}, \quad (2)$$

где  $k$  – количество преподавателей. Значение  $M_0$  округлялось с точностью до десятых.

Таким образом, в начале семестра была определена модель каждого обучаемого  $M_0$ .

Прогноз остаточных знаний по одной конкретно взятой учебной дисциплине для одного учащегося осуществлялся в два этапа. На первом этапе экзаменационная оценка прогнозировалась на основании ментальности обучаемого. На втором этапе, исходя из прогнозируемой оценки, прогнозировался набор остаточных знаний и умений, соответствующий данной оценке.

Каждый из этих этапов невозможно формализовать математически, поэтому были использованы две нейронные сети. Первая нейронная сеть будет обу-

ваться на основании ментальных портретов группы учащихся и экзаменационной ведомости, а вторая – на основании критериев оценки и учебной программы дисциплины, в которой содержится перечень знаний и умений.

После прохождения всех опросов и тестов составляется многопрофильный портрет учащегося, который можно использовать при разработке модели передачи знаний.

Зависимость экзаменационной оценки от личностных индивидуальных характеристик (11 нейронов) и модели знаний обучающегося (один нейрон) учащегося реализуется первой нейросетью. Входными сигналами являются ментальные характеристики учащегося, полученные в процессе их тестирования, и отметка по одному предмету. Входные сигналы образует вектор  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , компоненты которого перечислены в последнем столбце таблицы 1 при  $n = 12$ .

Для решения поставленной задачи была выбрана модель трехслойной нейронной сети прямого распространения с нелинейной (сигмовидной) функцией активации. Входной слой нейронной сети состоял из 12 нейронов, что соответствовало количеству рассматриваемых исходных параметров для определения модели обучаемого.

На выходе нейросеть должна сформировать сигналы, определяющие прогнозируемую модель, соответствующую учащемуся с конкретной характеристикой, которая подается на вход.

В качестве обучающей выборки были выбраны 60 учащихся Могилевского государственного политехнического колледжа, получающие знания по высшей математике в 2018/2019 учебном году. Учащиеся были протестированы согласно описанной методике. Результаты анкетирования и тестирования одной подгруппы, состоящей из 10 человек, представлены в таблице 2.

В результате тестирования учащихся нейронная сеть сформировала сигналы  $M_0$ , определяющие модель обучающего, соответствующую учащемуся с определенными характеристиками. Тестирование проводилось на выборке, составленной из учащихся, которые не участвовали при обучении нейронной сети, а именно 35 учащихся первого курса специальности «Программное обеспечение информационных технологий».

Все выходные сигналы были нормализованы, т. е. приведены к диапазону [0; 1]. Относительная погрешность определения модели обучаемого  $M_0$  составила приблизительно 9 %.

Задачу уменьшения размерности входных сигналов можно решить, анализируя весовые коэффициенты факторов. Было выявлено, что наиболее существенными являются отметка по профильному предмету (математике), уровень здоровья, уровень мотивации выбора профессии, уровень воли, уровень вычислительных способностей, умение работать в команде.

Таблица 2

Результаты тестирования учащихся

Характеристика	Учащиеся									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мотивы учебной деятельности (А. И. Божович, И. К. Марковой)	1	2	3	1	1	4	4	2	1	3
Тест Герчикова	2	5	4	2	5	4	4	3	3	2
Уровень интеллекта	50	100	120	80	70	60	150	130	75	90
Уровень вычислительных способностей	7	8	10	6	5	4	3	9	8	5
Умение работать в команде	70	90	80	60	50	40	100	70	90	50
Специальные способности	80	60	120	150	130	90	70	110	50	100
Тип темперамента	1	4	3	2	4	4	3	2	1	2
Уровень креативности	55	40	35	75	56	70	50	25	20	30
Жилищные условия	80	90	75	50	100	90	100	90	80	85
Состояние здоровья	100	90	80	70	50	80	100	100	90	100
Уровень воли	25	20	15	30	10	10	19	20	25	11
Отметка по математике	6	4	9	9	6	10	8	7	6	8

Таким образом, была построена вторая нейронная сеть, состоящая из шести входных нейронов, соответствующих выделенным факторам  $x_1, x_4, x_5, x_{10}, x_{11}, x_{12}$  из таблицы 1, которые оказывают наибольшее влияние на выходной параметр.

Обучение этой нейронной сети велось на основании 60 учащихся. Тестирование проводилось по выборке, составленной из тех же 35 учащихся, не участвующих при обучении первой нейронной сети. В данном случае относительная погрешность определения модели обучаемого  $M_0$  на тестирующих данных составила 11 %.

Таким образом, нами построена математическая модель обучаемого  $M_0 = F(MZ_0; Мих)$ , учитывающая личностные характеристики и отметку по математике, построены и обучены две нейронные сети с различным количеством входных сигналов, определяющие модель обучаемого. Факторы из первой нейросети, оказывающие незначительное влияние на определение модели обучаемого, во второй нейросети не учитывались.

### Среда обучения

Важным фактором, влияющим на усвоение материала, является также среда обучения. Она подразумевает взаимосвязь условий, воздействующих на человека, при которых он принимает непосредственное участие во взаимодействии с окружением. Была разработана нейросетевая модель, способная описать зависимость получаемых учащимся знаний и умений с учетом среды обучения.

Основными компонентами среды обучения являются:

- обеспеченность дисциплины учебно-методическими комплексами (УМК);
- информационно-техническое обеспечение дисциплины;
- контроль качества достижений учащегося;

- уровень организации обучения учащихся (количество посещенных занятий);
- оценки промежуточного уровня знаний обучающегося в течение семестра.

Все эти составляющие образуют дополнительные входные данные новой нейросети ( $x_7, x_8, \dots, x_{13}$ ), которые перечислены в последнем столбце таблицы 3.

Таблица 3

Входные параметры интегрированной нейросети

Факторы, влияющие на усвоение материала учащимся	Характеристика	Входной сигнал
Модель обучаемого	Уровень мотивации	$x_1$
	Уровень вычислительных способностей	$x_2$
	Умение работать в команде	$x_3$
	Уровень здоровья	$x_4$
	Уровень воли	$x_5$
	Отметка по математике	$x_6$
Среда обучения	Обеспеченность дисциплины УМК	$x_7$
	Информационно-техническое обеспечение дисциплины	$x_8$
	Текущий контроль качества учебных достижений учащихся	$x_9$
	Количество посещенных лекций учащимся	$x_{10}$
	Количество посещенных лабораторных занятий учащимся	$x_{11}$
	Средний балл по лекциям	$x_{12}$
	Средний балл по лабораторным занятиям	$x_{13}$

На основании этого нами разработана нейросетевая модель, которая описывает зависимость получаемых знаний и умений от среды обучения и модели обучаемого.

Результаты тестирования учащихся

Характеристика	Учащиеся									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мотивы учебной деятельности (А. И. Божович, И. К. Марковой)	1	2	3	1	1	4	4	2	1	3
Уровень вычислительных способностей	7	8	10	6	5	4	3	9	8	5
Умение работать в команде	70	90	80	60	50	40	100	70	90	50
Состояние здоровья	100	90	80	70	50	80	100	100	90	100
Уровень воли	25	20	15	30	10	10	19	20	25	11
Отметка по математике	6	4	9	9	6	10	8	7	6	8
Обеспеченность дисциплины УМК	1	3	3	2	1	4	2	4	1	3
Информационно-техническое обеспечение дисциплины	2	5	4	2	5	4	4	3	3	2
Текущий контроль качества учебных достижений учащихся	5	10	2	8	7	6	10	3	8	9
Количество посещенных лекций учащимся	15	20	10	30	25	25	20	15	30	30
Количество посещенных лабораторных занятий учащимся	30	20	25	30	20	25	20	15	20	25
Средний балл по лекциям	7	8	6	10	9	9	8	7	10	10
Средний балл по лабораторным занятиям	8	8	9	10	8	9	8	7	8	9

Итак, для прогнозирования знаний и умений обучаемого, получаемых им после изучения дисциплины, нам необходимо иметь информацию о модели знаний обучаемого в предметной области (входные знания по математике), о модели его индивидуальных характеристик (знаний об обучаемом) и о среде обучения.

В качестве примера в таблице 4 приведены данные одной из подгрупп.

Нейросетевая модель состоит из 13 нейронов, что соответствует количеству рассматриваемых исходных параметров для определения прогнозируемого балла. Как и в первой нейронной сети, результат выходного нейрона увеличивался в 10 раз и округлялся до целых, что соответствовало прогнозируемой отметке. В данном случае относительная погрешность определения модели обучаемого  $M_0$  составила приблизительно 6 %. Результаты нашего исследования подтверждают возможность использования последней нейросети для качественного прогнозирования модели обучаемого.

Таким образом, нами предложен новый подход к описанию трудно формализуемого процесса обучения учащихся, позволяющий для каждой изучаемой дисциплины строить соответствующую нейромодель, которая дает возможность прогнозировать знания и навыки у учащегося в зависимости от его личностных характеристик.

Установлены внешние и внутренние факторы, влияющие на успеваемость учащихся и качество усваивания знаний и навыков. Особое внимание уделено учащемуся как личности и его месту в процессе обучения. Исходя из этого разработана специальная методика, позволяющая анализировать психологические, эмоциональные, природные и физические особенности учащегося.

Результаты обучения и проверки работоспособности спроектированных нейронных сетей показывают эффективность их применения для прогнозирования отметок учащихся, возможности нахождения сложных закономерности и взаимосвязи между различными объектами, относящимися к одному классу данных. После того как нейронная сеть обучена, она становится надежным и недорогим инструментом анализа.

**Список использованных источников**

1. Агеев, В. Н. Совершенствование управления в социальных коммуникативных системах на основе электронных изданий: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.10 / В. Н. Агеев. – М., 1999. – 313 с.
2. Казаченок, В. В. Тенденции и модели развития образования XXI века / В. В. Казаченок // Матэматыка. – 2018. – № 5. – С. 3–8.
3. Федяев, О. И. Прогнозирование остаточных знаний учащихся по отдельным дисциплинам с помощью нейронных сетей / О. И. Федяев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 7. – С. 122–136.

**Аннотация**

В статье рассматривается разработанная автором нейросетевая модель обучения учащихся, способная описать зависимость получаемых учащимися профессиональных знаний и умений от факторов, которые влияют на полноту этих знаний, и позволяющая прогнозировать получение профессиональных навыков и знаний по учебной дисциплине.

**Abstract**

A neural network model of student learning has been developed that can describe the dependence of professional knowledge and skills received by students on factors that affect the completeness of this knowledge. Such a model will predict the acquisition of professional skills and knowledge in the academic discipline.