

Т.Н. Дубовик, И.А. Алпатова

## КОГНИТИВНЫЕ МОДЕЛИ С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИЕЙ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЛИЧНОСТИ. МЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТ. ЧАСТЬ 2

*Аннотация:* Статья посвящена решению актуальной задачи: повышения качества образования путем создания когнитивной модели с параметрической адаптацией. Данная модель представлена в форме регрессионного уравнения, которое связывает между собой показатели усвоения изучаемого материала с характеристиками личности. Адаптация модели осуществляется применительно к процессу изучения учебных дисциплин, определенных учебной программой специальности "специализированные компьютерные системы". Разработан алгоритм построения когнитивных моделей. Произведена оценка продолжительности сохранения знаний для различных технологий обучения (с адаптивным тренажером и без тренажера)

*Ключевые слова:* глобальная иерархия, когнитивная модель, когорта, кластер, параметрическая адаптация, математическая модель, корреляция, рейтинг.

**Введение.** Для исследования влияния комплекса психофизиологических и интеллектуальных факторов на когнитивные процессы используется модель в форме регрессионного уравнения, которое связывает между собой показатели усвоения изучаемого материала (оценки, рейтинги) с характеристиками личности учащегося. [1]. Используется линейное регрессионное уравнение с  $k$  переменными. По результатам  $n$  выборочных наблюдений отыскиваются коэффициенты (параметры)  $\hat{b}_i$  ( $i = \overline{0, k}$ ) следующего регрессионного уравнения

$$y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 x_1 + \hat{b}_2 x_2 + \dots + \hat{b}_k x_k. \quad (1)$$

или в нормированных переменных

$$w = \frac{y - m_y}{\sigma_y}, \quad u_i = \frac{x_i - m_{x_i}}{\sigma_{x_i}},$$

уравнение (1) переходит в следующее

$$w = \hat{\beta}_1 u_1 + \hat{\beta}_2 u_2 + \dots + \hat{\beta}_k u_k. \quad (2)$$

Коэффициенты  $\beta_i$  в относительных величинах характеризуют степень влияния  $i$ -го фактора на результат [1].

Адаптация модели осуществляется применительно к процессу освоения учебных дисциплин, определенных учебной программой специальности "специализированные компьютерные системы". Исходными данными служат: перечень изучаемых дисциплин, рейтинги этих дисциплин, перечень факторов, определяющих модель учащегося, тестовые оценки факторов, которые в модели входят в виде переменных, а коэффициенты при этих переменных являются параметрами модели, которые определяют уровень влияния факторов на когнитивные процессы. Данные об оценке этих факторов получаются на основе тестирования учащегося известными тестами [1].

**1. Подготовка исходных данных.** Для адаптации математической модели вида (1) к задаче исследования влияния характеристик личности на когнитивные процессы при изучении комплекса дисциплин в соответствии с учебной программой специальности "специализированные компьютерные системы" используются данные об интегральных рейтингах дисциплин учебной программы в целом и по каждому из трех сформированных кластеров. Результаты расчета рейтингов по кластерам приведены в таблицах 1 – 3.

Таблица 1

Средние значения рейтингов дисциплин кластера1 для групп контроля и эксперимента (1-контроль, 2-эксперимент с тренажером адаптивным, 3-эксперимент с тренажером неадаптивным)

№	Дисциплина	Кредиты, кр	Рейтинг1, $y_{i11}$	Рейтинг2, $y_{i21}$	Рейтинг3, $y_{i31}$
1	Програмування	5	77± 4,8	82± 6,6	80± 4,6
n	...	...	...	...	...
15	Захист інформації у комп'ютерних системах	4,5	100	89± 7,4	88± 5,8
16	Логічне програмування	1,5	76	79± 3,6	78± 7,9

Таблица 2

Средние значения рейтингов дисциплин кластера2 для групп контроля эксперимента (1-контроль,2-эксперимент с тренажером адаптивным, 3-эксперимент с тренажером неадаптивным)

№ №	Дисциплина	Кредиты, кг	Рей- тинг1, y <sub>i12</sub>	Рей- тинг2, y <sub>i22</sub>	Рейтинг3, y <sub>i32</sub>
11	Прикладная теория цифровых автоматов	5,5	77± 5,8	82± 4,2	79± 8,8
22	Дискретная математика	6	93	84± 2,1	81± 3,6
nn	...	...	...	...	...
11 5	Теория распознавания образов	4	84	80± 3,4	78± 7,6
16	Теория информации и кодирования	2	82	81± 4,3	79± 6,3

Таблица 3

Средние значения рейтингов дисциплин кластера3 для групп контроля и эксперимента (1-контроль,2-эксперимент с тренажером адаптивным, 3-эксперимент с тренажером неадаптивным)

№	Дисциплина	Кредиты,ks	Рейтинг1, y <sub>i13</sub>	Рейтинг2, y <sub>i23</sub>	Рейтинг3, y <sub>i33</sub>
1	Комп'ютерна електроніка	3	74± 3,8	78± 6,2	75± 4,4
2	Комп'ютерна схемотехніка	4	81		
n	...	...	...	...	...
11	Проектування мікропроцесорних систем	3.0	100	97± 3,2	99±1,1
12	Проектування комп'ютерних систем діагностики	6	93	94± 1,4	92± 6,2

На основании этих исходных данных с целью ранжирования дисциплин учебной программы выполняется иерархическое построение дисциплин каждого из кластеров. Для этой цели вычисляются

модифицированные рейтинги дисциплин по формуле (индексы опущены):

$$y_{\text{mod}} = k \cdot y \quad (3)$$

Этой формулой учитывается объем учебного курса, здесь  $k$  продолжительность изучения дисциплины в кредитах. Далее выполняются вычисления и строятся ранжированные списки дисциплин по критерию  $y_{\text{mod}}$ . Из полученных данных для дальнейшего построения когнитивных моделей выбираются по три представителя каждого кластера с максимальным, минимальным и средним значениями модифицированных рейтингов дисциплин, соответственно. Обозначения тестируемых психофизиологических факторов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Обозначения психофизиологических факторов  
в математических моделях

Параметр	1	2	3	4	5	6	...	n
Обозначение, $x_j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	...	$x_n$

$x_1$  – интеллектуальный тест IQ

$x_2$  – уровень подготовки, определяется результатами аттестации по дисциплинам, по которым учащийся аттестован.

$x_{21}$  – уровень подготовки по кластеру 1,  $x_{22}$  – по кластеру 2,  $x_{23}$  – по кластеру 3.

$x_3$  – эмоциональная устойчивость.

$x_4$  – короткая память;

$x_5$  – долгая память.

.....

$x_n$  – лабильность.

## 2. Ранжирование факторов влияния

Для предварительной иерархической оценки влияния психофизиологических факторов на когнитивные процессы используется корреляционный анализ. Строятся матрицы коэффициентов парной корреляции для различных сочетаний дисциплин и факторов для каждой из трех когорт. Определяются средние значения коэффициентов корреляции по каждому фактору (суммирование по дисциплинам в каждом кластере) для всех когорт. Далее выстраиваются факторы в иерархической зависимости от средних значений коэффициентов кор-

реляции. Таким образом, определяются: приоритетные факторы по кластерам, средние значения по всем дисциплинам (сумма трех кластеров) и определяется соответствующий иерархический порядок факторов влияния (они же факторы адаптации), назовем этот порядок глобальной иерархией. Производится расчет следующих матриц корреляции между факторами  $x_j$  и оценками  $y_{ij}$ ,  $i$  – номер дисциплины,  $j$  – номер фактора (при необходимости привязки к кластеру появляется верхний индекс  $y_{ik}^1, y_{ik}^2, y_{ik}^3$ ): кластер 1, когорты 1,2,3, соответственно –  $M_{11}, M_{12}, M_{13}$ , кластер 2, когорты 1,2,3, соответственно –  $M_{21}, M_{22}, M_{23}$ , кластер 3, когорты 1,2,3, соответственно  $M_{31}, M_{32}, M_{33}$ . Иллюстративный материал приведен в табл. 5, 6, для кластера 1 и двух когорт, матрицы  $M_{11}, M_{12}$ . Аналогичный вид имеют таблицы для кластеров 2 и 3.

Таблица 5

Матрица  $M_{11}$  коэффициентов  
парной корреляции (кластер1, когорта1)

$X_1$	$Y_{11}$	$Y_{21}$	$Y_{31}$	$Y_{41}$	$Y_{51}$	$Y_n$	$Y_{161}$	среднее по Y	разброс по Y
$X_1$	0,11	0,22	0,13	0,11	0,22	...	0,11	0,14	$\pm 0,12$
$X_2$	0,42	0,42	0,52	0,42	0,42	...	0,31	0,40	$\pm 0,07$
$X_n$						...			
Средн. по факторам	0,39	0,41	0,37	0,39	0,41	...	0,13		
Разброс	$\pm 0,20$	$\pm 0,17$	$\pm 0,19$	$\pm 0,20$	$\pm 0,17$		$\pm 0,16$		

Таблица 6

Матрица  $M_{12}$  коэффициентов  
парной корреляции (кластер1, когорта2)

Факторы	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$	$Y_{24}$	$Y_{25}$	...	$Y_{2m}$	Среднее по Y	Разброс по Y
$X_1$	0,11	0,22	0,13	0,11	0,21			0,14	$\pm 0,12$
$X_n$	...								
Средн. по факторам	0,39	0,41	0,37	0,17	0,15				
Разброс	$\pm 0,20$	$\pm 0,17$	$\pm 0,19$	$\pm 0,21$	$\pm 0,18$				

### 3. Построение моделей

На основе феноменологического анализа коэффициентов парной корреляции (см. табл. 5 и 6) по средним значениям их модулей определяются приоритетные факторы влияния на рейтинги (усвоение) рассматриваемых дисциплин.

Введем следующие обозначения:  $r_{11}$  – коэффициент корреляции между параметром  $X_1$  и переменной  $Y_{ij}$ , Для рассматриваемого примера таковыми являются (кластер1) фактор1 ( $r = 0,39$ ), фактор3 ( $r = 0,41$ ) и фактор7 ( $r = 0,45$ ). Для дисциплин кластера 2 фактор1 ( $r = 0,49$ ), фактор4 ( $r = 0,51$ ) и фактор7 ( $r = 0,49$ ). Для дисциплин кластера 3 – фактор1 ( $r = 0,59$ ), фактор3 ( $r = 0,41$ ) и фактор8 ( $r = 0,55$ ).

Для уровня корреляционных связей между рейтингами различных дисциплин и психофизиологическими факторами  $r > 0,5$ , выделяются факторы и дисциплины для дальнейшего анализа. Для анализа степени влияния выбранных факторов, с учетом введенных обозначений, используются уравнения (1) множественной регрессии в форме: (это уравнение надо переписать в введенных обозначениях для трех когорт)

$$W_j = \beta_1 U_1 + \beta_2 U_2 + \beta_3 U_3 + \dots \quad (4)$$

Это уравнение показывает какой относительный вклад в нормированный показатель успеваемости (рейтинг)  $W$  делает соответствующий психофизиологический фактор  $U_i$ . Количественной характеристикой этого вклада являются коэффициенты при  $i$ -х факторах среды  $\beta_i$ . Причем уровень совместного воздействия факторов характеризуется значением множественного коэффициента корреляции  $R$ . Оценка множественного коэффициента корреляции является мерой зависимости выходной переменной от входных переменных. Для этой оценки используется величина, имеющая распределение Фишера:

$$F = \frac{n-p}{p} \frac{R^2}{1-R^2} \quad 5)$$

где  $n$  – число наблюдений;  $P$  – число входных переменных. Статистика  $F$  имеет распределение Фишера с  $n-p$  и  $P$  степенями свобод.

Для того, чтобы записать конкретные уравнения регрессии в форме (4) для каждой из исследуемых дисциплин  $u_i$ , в соответствии с предложенной методикой, необходимо отобрать те факторы  $x_j$ , ко-

торые оказывают наиболее значимое влияние на усвоение соответствующих дисциплин. С этой целью был выполнен корреляционный анализ. На основе анализа этих данных были выделены так называемые приоритетные факторы, коэффициенты парной корреляции которых с соответствующими рейтингами составили величину  $r > 0,5$ . Это условие, в соответствии с представлениями исследователя, может быть и более жестким. На этом основании были выбраны факторы для дальнейшего анализа; результаты такого выбора представлены в табл. 7). Эти данные позволяют определить параметры уравнений (1) для каждой исследуемой дисциплины. Этим самым определяются сочетания факторов, которые оказывают наибольшее влияние на усвоение соответствующей дисциплины.

Таблица 7

Коэффициенты корреляции приоритетных факторов для  $r > 0,5$

	$Y_1$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_8$	$Y_{10}$
$X_3$			0,52	0,54	
$X_n$	...				
$X_{17}$	0,79	0,61	0,58	0,61	0,67

Следует отметить, что коэффициенты уравнения (1) имеют различные масштабы, которые определяются уровнем влияния фактора на усвоение дисциплины. Эта форма записи не позволяет оценить относительный вклад каждого фактора на эффективность усвоения соответствующей дисциплины. По этой причине был выполнен переход к нормированным переменным и тем самым к единому масштабу исследуемых величин коэффициентов. Переход к нормированным переменным позволяет количественно определить парциальный вклад каждого фактора при оценке совместного действия комплекса рассматриваемых факторов модели учащегося. Причем уровень совместного воздействия факторов среды характеризуется значением коэффициента множественной корреляции. Коэффициенты  $\beta_i$  в уравнении (4) характеризуют степень относительного влияния каждого фактора на результат на основании построенной когнитивной модели. Для выбранных факторов по условию для коэффициентов парной корреляции ( $r > 0,5$ ) уравнение (2) для оценки эффективности (когорта 1) примет вид:  $W_1 = 0,24U_8 + 0,63U_{10} + 0,09U_{11} + 0,69U_{12} + 0,24U_{14} + 0,69U_{17}$ .

Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,83$ , коэффициент детерминации  $R^2 = 0,69$ . Для когорты 2 имеем:

$$W_1 = 0,24U_8 + 0,63U_{10} + 0,09U_{11} + 0,69U_{12} + 0,24U_{14} + 0,69U_{17}$$

Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,88$ ,  $R^2 = 0,77$ .

Значения коэффициентов множественной корреляции для всех когорт близки, что говорит о том, что психофизиологические факторы примерно одинаково влияют на когнитивные процессы вне зависимости от метода обучения [1,3].

#### **4. Алгоритм построения когнитивных моделей.**

1. На основе феноменологического анализа строятся кластеры дисциплин по объединяющим признакам, в примере это используемый в кластере методический подход (формализм исследования)

2. Формируются таблицы исходных данных на основе обработки соответствующих ведомостей успеваемости по дисциплинам учебной программы.

2. Вычисляются модифицированные рейтинги по всем дисциплинам каждого из кластеров.

3. Строятся ранжированные списки дисциплин по кластерам.

4. На основе феноменологического анализа выбирается набор факторов для тестирования.

5. Тестируются учащиеся и строится таблица значений для выбранного набора факторов [2, 4].

6. Вычисляются матрицы корреляции между дисциплинами и факторами.

7. На основе феноменологического анализа определяется критерий вида  $r > r_{lim}$ ,

8. Для каждой дисциплины выбираются значимые в соответствии с критерием факторы.

9. С учетом выбранных факторов определяется структура уравнений (1) и (4), то есть определяется набор факторов для каждой из исследуемых дисциплин.

10. Выписываются уравнения для выбранных из ранжированных списков дисциплин для каждого кластера. В примере уравнения записываются для дисциплин с максимальным, минимальным и средним рейтингами в каждом из трех кластеров, 9 уравнений.

**5. Задача прогноза.** Далее представляет интерес оценка продолжительности сохранения знаний для различных технологий обу-



чения (с адаптивным тренажером и без тренажера). Это задача прогноза. Измеренные значения психофизиологических факторов при этом используются для настройки адаптивного тренажера. Для этих оценок используются данные тестирования знаний непосредственно после окончания обучения и спустя один год. На сопоставлении прогнозных значений знаний и значений рейтингов, полученных спустя один год посредством тестирования основана верификация моделей прогноза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубовик, Т.Н. Когнитивные модели с параметрической адаптацией к характеристикам личности. Методический аспект. Часть 1 / Т.Н. Дубовик, И.А. Алпатова // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (98). – Дніпропетровськ 2015. – С. 63–71.
2. Дубовик, Т.Н. Использование тестовых систем для повышения качества обучения / Т.Н. Дубовик, О.В. Сергеева Д.Д. Дубовик // Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Nauka: teoria i praktyka - 2012» Przemysł Nauka i studia. 2012 88 str. Стр. 31 33.
3. Дубовик Т.М., К вопросу об адаптации и настройке моделей обучения [текст]/ Т.Н. Дубовик, В.А. Семьонов // Региональный межвузовский сборник научных работ «Системные технологии» 3(86) 2013. – С.19–28.
4. Аванесов В.С., Хохолова Т.С., Ступак Ю.А., Потап О.Е., Чернявский В.Г., Плискановский С.А. Педагогические тесты. Вопросы разработки и применения [Текст] Пособия для преподавателей / В.С. Аванесов, Т.С. Хохолова, Ю.А. Ступак, О.Е. Потап, В.Г. Чернявский, С.А. Плискановский – Дніпропетровськ: Пороги, 2005. – 64 с.