

## Прогноз результатов успеваемости студентов вуза на основе марковских процессов

С. В. Помян<sup>1</sup>, О. С. Белоконь<sup>2</sup>

<sup>1</sup>кандидат педагогических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко.

Молдова, ПМР, г. Тирасполь. ORCID: 0000-0003-2777-3575. E-mail: svpomian@gmail.com

<sup>2</sup>старший преподаватель кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко.

Молдова, ПМР, г. Тирасполь. E-mail: key\_olga@mail.ru

**Аннотация.** Актуальность исследования обусловлена тем, что вузу необходим обоснованный прогноз результатов обучения студентов на ранних стадиях: во время подачи документов в приемную комиссию вуза, в начале обучения, на этапе выбора дальнейшего направления обучения. Цель статьи – представить методику прогноза успеваемости студентов вуза по семестрам, опираясь на выборку ретроспективных данных, и показать результаты апробации разработанной методики. Использовались следующие методы исследования: теоретический анализ, моделирование, экспертные методы, квалиметрические методы, методы теории вероятностей и математической статистики и теории случайных процессов. В результате применения этих методов была разработана методика прогноза успеваемости студентов выбранного направления с использованием математического аппарата цепей Маркова. Для реализации разработанной методики определен перечень возможных состояний студента, найдены вероятности переходов студентов между состояниями и сформирован вероятностный прогноз результатов обучения для каждого семестра обучения. Для вычисления вероятности переходов использованы выборки ретроспективных данных, содержащих результаты успеваемости студентов предыдущих лет. При апробации разработанной методики в качестве обучающей выборки использованы данные успеваемости студентов 2011–2013 годов набора Приднестровского государственного университета им. Т. Г. Шевченко направления подготовки «Информатика и вычислительная техника», а в качестве контролирующей выборки – данные успеваемости студентов 2014 года набора того же направления. Проведенная апробация показала, что с высокой степенью точности можно прогнозировать состояние успеваемости студентов вуза для категории отчисляемых студентов. Полученные прогнозируемые данные могут быть использованы для повышения мотивации студентов к обучению уже по итогам первой сессии и повышения качества знаний обучающихся в течение всего периода обучения в вузе. Область применения результатов: теоретические аспекты рассматриваемых проблем могут быть полезны исследователям, рассматривающим вопросы оценки качества обучения студентов вуза; практические аспекты – преподавателям и учебной части вуза для решения проблем успеваемости студентов.

**Ключевые слова:** прогноз, прогнозирование успеваемости студентов, качество обучения, квалиметрия, цепи Маркова.

Актуальность методики прогноза успеваемости студентов обусловлена тем, что вузу необходим обоснованный прогноз результатов обучения студентов на ранних стадиях: во время подачи документов в приемную комиссию вуза; в первом-втором семестре; на этапе выбора дальнейшего направления обучения после окончания первого курса. Но в настоящее время нет подробной, математически четко описанной, пошаговой методики, которая позволяла бы на начальном этапе прогнозировать состояние группы студентов для выбора оптимального направления обучения.

Наличие такой методики даст возможность, сопоставив исходные данные успеваемости студента (например, результаты первого-второго семестра) с имеющимися данными результатов обучения на различных направлениях, с высокой долей вероятности определить, какую направленность (профиль) подготовки лучше выбрать. Основываясь на входных данных, а также на данных о студентах, уже закончивших обучение по выбранному направлению, можно произвести анализ этих данных и сформировать прогноз, содержащий информацию о том, какое количество студентов на каждом курсе будет находиться в определенных состояниях успеваемости и в каком состоянии успеваемости студенты завершат свое обучение в вузе.

Возможны различные трактовки понятия «состояние студента», но мы будем понимать под состоянием студента его успеваемость по итогам сессии.

Проблемы прогнозирования результатов обучения студентов в высшем учебном заведении в современных рыночных условиях являются актуальными по ряду причин. Во-первых, подготовка квалифицированных специалистов – одна из главных задач любого образовательного учреждения [3; 7]. Во-вторых, управление процессом обучения студентов в условиях влияния множества внешних факторов является сложной задачей как в организационном, так и социально-экономическом плане, требующем системного подхода и разработки новых методов и моделей управления [11; 14; 18; 20].

Целью исследования является разработка и апробация методики, которая позволит спрогнозировать успеваемость определенной группы обучающихся в вузе по семестрам, опираясь на выборку ретроспективных данных. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи: 1) осуществить сбор информации об успеваемости обучающихся в вузе (не менее чем за три года) по выбранному направлению; 2) сформировать перечень возможных состояний студентов и сформулировать критерии распределения студентов по состояниям успеваемости; 3) показать апробацию разработанной методики на реальных данных успеваемости студентов.

**Методы.** Проанализировав модели и подходы к прогнозу успеваемости студентов вуза [1; 5; 9-13; 17; 19; 21], можно сделать вывод о том, что использование методов статистической обработки данных, применение возможностей современной вычислительной техники для обработки данных, полученных в ходе исследований, и построение статистических моделей позволяет оценить текущее состояние учебных достижений студентов и осуществить прогноз их будущих состояний [5; 13; 15; 16; 19; 21]. А значит, важной и актуальной является задача разработки методики прогноза успеваемости студентов на основе исходных данных.

Рассмотрим формирование прогноза успеваемости студентов вуза, то есть с какими показателями закончит обучение выбранный набор обучающихся на основании данных рейтинга, например, за первый семестр обучения.

В качестве математического аппарата используем цепи Маркова [2; 8].

Методика прогнозирования успеваемости студентов вуза представлена в виде последовательности следующих шагов:

*Шаг 1.* Формирование перечня возможных состояний студентов.

*Шаг 2.* Распределение результатов успеваемости студентов тех групп, на основании которых будет формироваться прогноз, на  $n$  непересекающихся групп, в соответствии с критериями попадания в определенное состояние студента в начальный момент времени  $t = 0$  – этот набор данных будет являться ретроспективным, результаты обучения студентов уже известны.

*Шаг 3.* Формирование матрицы состояний студентов за весь период обучения (восемь семестров).

*Шаг 4.* Формирование матрицы вероятностей переходов студентов из одного состояния в другое в каждый момент времени ( $t = 1, t = 2, \dots, t = 7$ ).

*Шаг 5.* Распределение результатов успеваемости студентов группы, для которой будет формироваться прогноз, на  $n$  непересекающихся групп, в соответствии с критериями попадания в определенное состояние студента в начальный момент времени  $t = 0$  – прогнозируемый набор данных.

*Шаг 6.* Использование для получения прогнозируемых значений матрицы вероятностей переходов (ретроспективные данные), которая формируется умножением каждого элемента на соответствующее ему число обучающихся в группе в момент времени  $t = 0$ .

*Шаг 7.* Округление значений матрицы, полученных на предыдущем шаге, в результате получим новую матрицу, каждый элемент которой показывает прогнозируемое число обучающихся, перешедших из группы  $i$  в группу  $j$ .

*Шаг 8.* Сравнение матрицы прогнозируемых значений и матрицы, составленной по реальным значениям.

Алгоритм отображает последовательность шагов, которые необходимо выполнить при применении разработанной методики на практике, обрабатывая экспериментальные данные. Каждый шаг содержит краткое описание процедуры, четкое выполнение которой позволит реализовать методику формирования прогноза успеваемости студентов вуза с произвольным набором данных.

Шаги 1-4 описывают действия, которые выполняют над набором данных (ретроспективные данные), описывающих изменения состояний студентов за весь период обучения (обучающаяся выборка).

Шаги 5-7 описывают действия для формирования прогноза успеваемости студентов, поступивших в вуз.

Шаг 8 описывает действия по определению точности полученного прогноза успеваемости студентов.

**Результаты и их обсуждение.** Применим подход, описанный выше, для прогнозирования успеваемости студентов вуза 2014 года набора Приднестровского государственного университета им. Т. Г. Шевченко направления «Информатика и вычислительная техника», уровень бакалавриата. Общее число студентов, для которых будем формировать прогноз успеваемости, – 26 человек. Матрицу вероятностей переходов студентов из одного состояния в другое по итогам каждого семестра будем строить на основе ретроспективных данных в совокупности для 2011 года набора (52 человека), для 2011–2012 годов набора (99 человек) и для 2011–2013 годов набора (147 человек) того же направления. Общее число студентов, успеваемость которых используется для построения матрицы вероятностей переходов из одного состояния в другое, составляет 147 человек.

Рассмотрим статистическую однородность выборки экспериментальной (прогнозируемой) и контрольной групп. Каждый студент, поступающий на направление «Информатика и вычислительная техника» в Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко, предоставляет результаты ЕГЭ по математике, родному языку и информатике или физике, причем баллы учитываются только по профильному предмету – математике, остальные предметы учитываются в форме зачета.

Студенты контрольной и экспериментальной групп при поступлении в вуз имели близкие в среднем результаты (контрольной – 57,9 балла, экспериментальной – 58,2), вступительные испытания были идентичны, что позволяет судить об одинаковом начальном уровне обученности групп.

На начальном этапе проверена возможность объединения студентов контрольной группы в одну выборку. Для этого доказаны: одновременно статистическая неразличимость дисперсий для каждой группы (критерий Бартлетта) [6, с. 23–36] и их средних арифметических, для чего проведено сравнение центров распределений величин попарно, то есть данных вступительных испытаний студентов 2011 года набора с данными студентов 2012 года набора, 2011 с 2013 и 2012 с 2013 годом набора ( $t$ -распределение Стьюдента [6, с. 23–36]).

Согласно критерию Бартлетта  $Q = 0,12481$ , а  $\chi^2_{табл} = 5,991$ ; так как  $Q < \chi^2_{табл}$ , следовательно, статистическую неразличимость дисперсий можно считать доказанной.

Используя критерий Стьюдента, мы рассмотрели попарно следующие выборки:

1) для данных о вступительных испытаниях студентов групп 2011 и 2012 годов набора:  $t = 1,982$ ,  $t_{табл} = 1,984$ ; так как  $t < t_{табл}$ , следовательно, можно говорить о равенстве центров распределения выборок для выборок студентов 2011 и 2012 годов набора;

2) для данных о вступительных испытаниях студентов групп 2012 и 2013 годов набора:  $t = 1,013$ ,  $t_{табл} = 1,985$ , так как  $t < t_{табл}$ , следовательно, можно говорить о равенстве центров распределения выборок для выборок студентов 2012 и 2013 годов набора;

3) для данных о вступительных испытаниях студентов группа 2011 и 2013 года набора:  $t = 0,691$ ,  $t_{табл} = 1,984$ , так как  $t < t_{табл}$ , следовательно, можно говорить о равенстве центров распределения выборок для выборок студентов 2011 и 2013 годов набора.

Исходя из результатов расчетов, выборки с результатами вступительных испытаний студентов 2011, 2012 и 2013 годов набора могут быть объединены в одну выборку для дальнейших статистических расчетов.

Для доказательства однородности экспериментальной и контрольной групп использован  $t$ -критерий Стьюдента ( $t = 1,601$ ,  $t_{табл} = 1,974$ , так как  $t < t_{табл}$ ), который показал статистическую однородность.

Рассмотрим апробацию разработанной методики прогнозирования успеваемости студентов вуза по шагам.

**Первый шаг.** Сформируем перечень состояния успеваемости студентов. Пусть на первый курс учебного заведения поступило  $N$  студентов. Выделим несколько состояний студентов  $T_1, T_2, \dots, T_n$  по их успеваемости и опишем переходы от одного состояния к другому в зависимости от сессии (номера 1, 2, 3, ..., 8). Критерием разбиения студентов по состояниям выберем

средний балл успеваемости ( $Sr\bar{b}$ ) по итогам каждой сессии, тогда состояния успеваемости студентов могут быть представлены в следующем виде:

- состояние  $T_1$ , критерий попадания в состояние –  $4,75 \leq Sr\bar{b} < 5,00$ ;
- состояние  $T_2$ , критерий попадания в состояние –  $4,00 \leq Sr\bar{b} < 4,75$ ;
- состояние  $T_3$ , критерий попадания в состояние –  $3,50 \leq Sr\bar{b} < 4,00$ ;
- состояние  $T_4$ , критерий попадания в состояние –  $3,00 \leq Sr\bar{b} < 3,50$ ;
- состояние  $T_5$ , критерий попадания в состояние –  $2,50 \leq Sr\bar{b} < 3,00$ ;
- состояние  $T_6$ , критерий попадания в состояние –  $Sr\bar{b} < 2,50$ .

Разбиение всего множества состояний на шесть категорий обусловлено тем, что в вузе наряду с пятибалльной шкалой используется общеевропейская система учета учебной работы студентов при освоении образовательной программы или курса ECTS (стобалльная шкала). При использовании данной системы установлено следующее соответствие между шкалами:

- оценка  $A$  (88–100 баллов) соответствует оценке «отлично»,
- оценка  $B$  (80–87 баллов) соответствует оценке «хорошо»,
- оценка  $C$  (70–79 баллов) соответствует оценке «хорошо»,
- оценка  $D$  (60–69 баллов) соответствует оценке «удовлетворительно»,
- оценка  $E$  (50–59 баллов) соответствует оценке «удовлетворительно»,
- оценка  $F$  (0–49 баллов) соответствует оценке «неудовлетворительно».

Общее количество студентов на протяжении всего периода обучения с учетом отчисленных является неизменным и равно  $N$ .

По результатам сессии студенты могут переходить из одного состояния в другое, а могут и остаться без изменения в прежнем состоянии. Поскольку студенты самопроизвольно могут переходить из одного состояния в другое, то можно говорить о свойстве ветвления. Основная часть студентов по результатам сессии продолжает учиться в вузе, а лишь небольшая часть отчисляется из него, следовательно, можно говорить о двух ветвях случайного процесса: доминантной, когда студенты учатся с теми или иными оценками, и побочной, когда часть студентов по результатам успеваемости отчисляется.

*Второй шаг.* Сформируем начальное состояние студентов 2011 года набора, для чего создадим таблицу, содержащую следующую информацию: фамилия студента, учебные дисциплины, выносимые на сессию, и результаты экзаменационной сессии для каждого студента (табл. 1). Используя средний балл как критерий попадания в определенное состояние, построим начальное состояние для каждого студента по первому семестру.

Таблица 1

**Исходные данные первого семестра для 2011 года набора (фрагмент)**

| №   | ФИО    | Математика | Инженерная графика | Программирование | Информатика | Средний балл | Состояние |
|-----|--------|------------|--------------------|------------------|-------------|--------------|-----------|
| 1   | Б.Л.А. | 4          | 5                  | 4                | 3           | 4,00         | T2        |
| 2   | Б.Д.Б. | 3          | 4                  | 3                | 3           | 3,25         | T4        |
| 3   | Б.А.А. | 5          | 5                  | 5                | 5           | 5,00         | T1        |
| ... | ...    | ...        | ...                | ...              | ...         | ...          | ...       |
| 51  | Ч.П.С. | 3          | 3                  | 5                | 4           | 3,75         | T3        |
| 52  | Ш.А.А. | 3          | 3                  | 3                | 4           | 3,25         | T4        |

*Третий шаг.* Аналогичные таблицы построим для каждого семестра. На основе этих таблиц сформируем итоговую матрицу состояний успеваемости студентов. Фрагмент этой матрицы представлен в таблице 2.

Таблица 2

**Состояния успеваемости для набора 2011 года набора (фрагмент)**

| №   | ФИО    | 1 сем | 2 сем | 3 сем | 4 сем | 5 сем | 6 сем | 7 сем | 8 сем |
|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1   | Б.Л.А. | T2    | T2    | T2    | T2    | T2    | T2    | T2    | T2    |
| 2   | Б.Д.Б. | T4    | T4    | T4    | T4    | T4    | T5    | T6    | T6    |
| 3   | Б.А.А. | T1    | T2    | T2    | T1    | T1    | T1    | T1    | T1    |
| ... | ...    | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   |
| 51  | Ч.П.С. | T3    | T3    | T4    | T4    | T6    | T6    | T6    | T6    |
| 52  | Ш.А.А. | T4    | T4    | T4    | T4    | T4    | T4    | T3    | T3    |

Вся матрица состояний студентов содержит информацию о состояниях 52 студентов. Состояния студентов по итогам первого семестра примем за начальное, то есть  $t = 0$ .

Подсчитаем общее число студентов в каждом состоянии в момент времени  $t = 0, t = 1$  (по итогам второго семестра) и так далее до момента времени  $t = 7$  (по итогам 8 семестра). Количество студентов в каждом из состояний успеваемости обозначим через  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$  в соответствии с критерием попадания студента в определенное состояние. Полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Число студентов по состояниям в каждом семестре 2011 года набора**

|                      | 1 сем | 2 сем | 3 сем | 4 сем | 5 сем | 6 сем | 7 сем | 8 сем |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>M<sub>1</sub></b> | 11    | 6     | 8     | 7     | 7     | 7     | 9     | 15    |
| <b>M<sub>2</sub></b> | 15    | 16    | 14    | 14    | 14    | 15    | 14    | 11    |
| <b>M<sub>3</sub></b> | 6     | 8     | 3     | 4     | 7     | 5     | 6     | 7     |
| <b>M<sub>4</sub></b> | 20    | 18    | 17    | 17    | 11    | 10    | 8     | 4     |
| <b>M<sub>5</sub></b> | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     |
| <b>M<sub>6</sub></b> | 0     | 3     | 10    | 10    | 12    | 14    | 15    | 15    |

В таблице 4 представлены данные, отображающие количественный переход студентов из одного состояния успеваемости в другое.

Таблица 4

**Количественный переход студентов из одного состояния в другое (фрагмент)**

| Семестр    | $k_1^1$ | $k_2^1$ | $k_3^1$ | $k_4^1$ | $k_5^1$ | $k_6^1$ | Семестр    | $k_1^4$ | $k_2^4$ | $k_3^4$ | $k_4^4$ | $k_5^4$ | $k_6^4$ |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>1-2</b> | 6       | 5       | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>1-2</b> | 0       | 0       | 1       | 16      | 1       | 2       |
| <b>2-3</b> | 5       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>2-3</b> | 0       | 0       | 0       | 13      | 0       | 5       |
| <b>3-4</b> | 5       | 3       | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>3-4</b> | 0       | 1       | 1       | 15      | 0       | 0       |
| <b>4-5</b> | 7       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>4-5</b> | 0       | 2       | 4       | 9       | 1       | 1       |
| <b>5-6</b> | 6       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>5-6</b> | 0       | 1       | 1       | 7       | 1       | 1       |
| <b>6-7</b> | 7       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>6-7</b> | 0       | 1       | 2       | 7       | 0       | 0       |
| <b>7-8</b> | 9       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>7-8</b> | 1       | 1       | 2       | 4       | 0       | 0       |

Обозначение вида  $k_j^i$  – количество обучающихся, которые были в группе  $i$  в текущий момент и попали в группу  $j$  в следующий. Например,  $k_1^1$  – количество студентов, которые находились в состоянии успеваемости  $T_1$  в предыдущей сессии и сохранили его в следующей сессии, а  $k_3^1$  – количество студентов, которые находились в состоянии успеваемости  $T_3$  в предыдущей сессии и переместились в состояние  $T_1$  в следующей сессии.

*Четвертый шаг.* Данные, представленные в таблице 4, будем использовать для построения матрицы вероятностей перехода из одного состояния в другое. Полученный результат представлен в таблице 5.

Таблица 5

**Матрица вероятностей перехода из одного состояния в другое (фрагмент)**

|            | $p_1^1$ | $p_2^1$ | $p_3^1$ | $p_4^1$ | $p_5^1$ | $p_6^1$ |            | $p_1^4$ | $p_2^4$ | $p_3^4$ | $p_4^4$ | $p_5^4$ | $p_6^4$ |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>1-2</b> | 0,55    | 0,45    | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>1-2</b> | 0       | 0       | 0,05    | 0,8     | 0,05    | 0,10    |
| <b>2-3</b> | 0,83    | 0,17    | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>2-3</b> | 0       | 0       | 0       | 0,72    | 0       | 0,28    |
| <b>3-4</b> | 0,63    | 0,38    | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>3-4</b> | 0       | 0,06    | 0,06    | 0,88    | 0       | 0       |
| <b>4-5</b> | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>4-5</b> | 0       | 0,12    | 0,24    | 0,53    | 0,06    | 0,06    |
| <b>5-6</b> | 0,86    | 0,14    | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>5-6</b> | 0       | 0,09    | 0,09    | 0,64    | 0,09    | 0,09    |
| <b>6-7</b> | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>6-7</b> | 0       | 0,10    | 0,20    | 0,70    | 0       | 0       |
| <b>7-8</b> | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | <b>7-8</b> | 0,13    | 0,13    | 0,25    | 0,50    | 0       | 0       |

Обозначение вида  $P_j^i$  показывает вероятность перехода из состояния  $i$  в состояние  $j$ . Например,  $P_2^1$  – вероятность, с которой возможен переход студента из состояния успеваемости  $T_1$  по итогам предыдущей сессии в состояние успеваемости  $T_2$  по итогам следующей сессии.

*Пятый шаг.* Распределение результатов успеваемости студентов на  $n$  непересекающихся групп в соответствии с критериями попадания студента в определенное состояние студента в начальный момент времени  $t = 0$  – прогнозируемый набор данных.

*Шестой шаг.* Матрицу вероятностей переходов (ретроспективные данные) используем для получения прогнозируемых значений, помножив каждый элемент на соответствующее ему число обучающихся в группе (в момент времени  $t = 0$ ) 2014 года набора. Прогнозируемые данные успеваемости студентов вуза 2014 года набора отображены в таблице 6.

Таблица 6

**Прогнозируемые данные успеваемости студентов 2014 года набора (фрагмент)**

|            | $k_1^{*1}$ | $k_2^{*1}$ | $k_3^{*1}$ | $k_4^{*1}$ | $k_5^{*1}$ | $k_6^{*1}$ |            | $k_1^{*4}$ | $k_2^{*4}$ | $k_3^{*4}$ | $k_4^{*4}$ | $k_5^{*4}$ | $k_6^{*4}$ |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>1-2</b> | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>1-2</b> | 0          | 1          | 0,50       | 7          | 0,50       | 1          |
| <b>2-3</b> | 0,30       | 0,12       | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>2-3</b> | 0          | 0          | 0          | 5,60       | 0          | 2,80       |
| <b>3-4</b> | 0,95       | 0,71       | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>3-4</b> | 0          | 1,67       | 0          | 6,68       | 0          | 0          |
| <b>4-5</b> | 1,98       | 0,33       | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>4-5</b> | 0          | 2,83       | 1,13       | 2,27       | 0,57       | 0,57       |
| <b>5-6</b> | 1,65       | 0,33       | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>5-6</b> | 0          | 0          | 0,53       | 2,12       | 0,53       | 0          |
| <b>6-7</b> | 2,61       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>6-7</b> | 0          | 0,51       | 1,54       | 3,58       | 0          | 0          |
| <b>7-8</b> | 3,08       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>7-8</b> | 0,51       | 0,51       | 1,01       | 2,03       | 0          | 0          |

Обозначение вида  $k_j^{*i}$  – прогнозируемое количество обучающихся, которые были в группе  $i$  в текущий момент и попали в группу  $j$  в следующий момент.

Прогноз успеваемости студентов 2014 года набора на основе ретроспективных данных 2011 года набора по всем восьми семестрам (весь период обучения) представлен в таблице 7.

Таблица 7

**Прогнозируемые значения успеваемости студентов для 2014 года набора**

| Семестр \ Прогноз    | 1  | 2      | 3      | 4       | 5       | 6      | 7      | 8      |
|----------------------|----|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
| <b>M<sub>1</sub></b> | 0  | 0,4444 | 1,6663 | 2,3120  | 1,9817  | 2,6109 | 3,0813 | 6,4509 |
| <b>M<sub>2</sub></b> | 8  | 9,1333 | 8,6123 | 10,0663 | 11,9934 | 7,5263 | 7,6341 | 5,3008 |
| <b>M<sub>3</sub></b> | 7  | 5,5222 | 0,6903 | 1,5746  | 1,5915  | 1,9697 | 2,4990 | 3,4900 |
| <b>M<sub>4</sub></b> | 10 | 8,4000 | 8,3506 | 7,3707  | 3,1830  | 5,6325 | 4,0547 | 2,0274 |
| <b>M<sub>5</sub></b> | 0  | 1,5000 | 0,0000 | 0,0000  | 0,5670  | 0,5305 | 0,0000 | 0,0000 |
| <b>M<sub>6</sub></b> | 1  | 1,0000 | 6,6806 | 4,6764  | 6,6834  | 7,7301 | 8,7310 | 8,7310 |

*Седьмой шаг.* Полученные прогнозируемые данные успеваемости студентов 2014 года набора округляем до целой части (табл. 8).

Таблица 8

**Прогноз успеваемости студентов 2014 года набора (округление)**

| Семестр \ Прогноз    | 1  | 2 | 3 | 4  | 5  | 6 | 7 | 8 |
|----------------------|----|---|---|----|----|---|---|---|
| <b>M<sub>1</sub></b> | 0  | 0 | 2 | 2  | 2  | 3 | 3 | 6 |
| <b>M<sub>2</sub></b> | 8  | 9 | 9 | 10 | 12 | 8 | 8 | 5 |
| <b>M<sub>3</sub></b> | 7  | 6 | 1 | 2  | 2  | 2 | 2 | 3 |
| <b>M<sub>4</sub></b> | 10 | 8 | 8 | 7  | 3  | 6 | 4 | 2 |
| <b>M<sub>5</sub></b> | 0  | 2 | 0 | 0  | 1  | 1 | 0 | 0 |
| <b>M<sub>6</sub></b> | 1  | 1 | 7 | 5  | 7  | 8 | 9 | 9 |

*Восьмой шаг.* Матрицу прогнозируемых значений сравним с реальной матрицей состояний успеваемости студентов 2014 года набора, составленной по реальным значениям и про-

анализируем полученный результат. Сначала выполним количественное сравнение данных по семестрам прогноза успеваемости студентов 2014 года набора по значениям успеваемости 2011 года набора и реальных значений успеваемости студентов 2014 года набора. Выделим цветом те значения, которые совпали полностью (табл. 9).

Таблица 9

| Количественный анализ прогноза успеваемости студентов |    |   |   |    |    |   |   |   |                      |    |    |   |   |   |   |   |   |
|---|----|---|---|----|----|---|---|---|----------------------|----|----|---|---|---|---|---|---|
| Прогнозируемые значения                               |    |   |   |    |    |   |   |   | Реальные значения    |    |    |   |   |   |   |   |   |
|   | 1  | 2 | 3 | 4  | 5  | 6 | 7 | 8 |                      | 1  | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| <b>M<sub>1</sub></b>                                  | 0  | 0 | 2 | 2  | 2  | 3 | 3 | 6 | <b>M<sub>1</sub></b> | 0  | 4  | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| <b>M<sub>2</sub></b>                                  | 8  | 9 | 9 | 10 | 12 | 8 | 8 | 5 | <b>M<sub>2</sub></b> | 8  | 5  | 5 | 2 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| <b>M<sub>3</sub></b>                                  | 7  | 6 | 1 | 2  | 2  | 2 | 2 | 3 | <b>M<sub>3</sub></b> | 7  | 5  | 7 | 6 | 3 | 6 | 2 | 2 |
| <b>M<sub>4</sub></b>                                  | 10 | 8 | 8 | 7  | 3  | 6 | 4 | 2 | <b>M<sub>4</sub></b> | 10 | 10 | 8 | 9 | 9 | 3 | 6 | 6 |
| <b>M<sub>5</sub></b>                                  | 0  | 2 | 0 | 0  | 1  | 1 | 0 | 0 | <b>M<sub>5</sub></b> | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>M<sub>6</sub></b>                                  | 1  | 1 | 7 | 5  | 7  | 8 | 9 | 9 | <b>M<sub>6</sub></b> | 1  | 2  | 5 | 5 | 7 | 9 | 9 | 9 |

Количественный анализ показал, что, например, прогноз успеваемости в момент времени  $t = 6$  (7 семестр) предсказал на 100 % четыре типа состояний успеваемости студентов из шести, а именно:

- количество студентов, находящихся в состоянии  $T_1$ , со средним баллом более 4,75;
- количество студентов, находящихся в состоянии  $T_3$ , со средним баллом от 3,5 до 4,0;
- количество студентов, находящихся в состоянии  $T_5$ , со средним баллом от 2,5 до 3,0;
- количество студентов, находящихся в состоянии  $T_6$ , со средним баллом меньше 2,5.

Вычислим погрешность прогноза успеваемости студентов и реальных значений по итогам восьмого семестра. В таблице 10 представлен результат прогноза успеваемости и реальных данных студентов 2014 года набора. Видно, что в состояниях  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_5$ ,  $T_6$  точность прогноза от 67 % и выше, а в состоянии  $T_4$  точность мала (не превышает 40 %).

Таблица 10

| Погрешность прогноза успеваемости для студентов 2014 года набора |                     |                        |                |
|--|---------------------|------------------------|----------------|
|  | Прогноз (8 семестр) | Реальность (8 семестр) | Погрешность, % |
| <b>M<sub>1</sub></b>   | 6                   | 3                      | 50             |
| <b>M<sub>2</sub></b>   | 5                   | 6                      | 20             |
| <b>M<sub>3</sub></b>   | 3                   | 2                      | 33             |
| <b>M<sub>4</sub></b>   | 2                   | 6                      | 60             |
| <b>M<sub>5</sub></b>   | 0                   | 0                      | 0              |
| <b>M<sub>6</sub></b>   | 9                   | 9                      | 0              |

Заметим, что количество отчисленных студентов предсказано точно.

Проанализируем данные трех прогнозов успеваемости студентов и реальные значения успеваемости студентов 2014 года набора. В таблице 11 отображены данные, полученные на основе сформированного прогноза успеваемости студентов по итогам восьмого семестра (момент времени  $t = 7$ ), и реальные значения успеваемости.

Таблица 11

| Прогноз успеваемости для студентов 2014 года набора и реальные значения успеваемости по итогам восьмого семестра |                         |                |           |                |           |                | Реальные значения |
|--|-------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-------------------|
|  | Прогнозируемые значения |                |           |                |           |                | 2014 г.           |
|  | 2011                    | Погрешность, % | 2011-2012 | Погрешность, % | 2011-2013 | Погрешность, % |                   |
| <b>M<sub>1</sub></b>   | 6                       | 50             | 6         | 50             | 5         | 40             | 3                 |
| <b>M<sub>2</sub></b>   | 5                       | 20             | 5         | 20             | 5         | 20             | 6                 |
| <b>M<sub>3</sub></b>   | 3                       | 33             | 3         | 33             | 3         | 33             | 2                 |
| <b>M<sub>4</sub></b>   | 2                       | 60             | 3         | 50             | 3         | 50             | 6                 |
| <b>M<sub>5</sub></b>   | 0                       | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0                 |
| <b>M<sub>6</sub></b>   | 9                       | 0              | 9         | 0              | 9         | 0              | 9                 |

Анализируя полученные результаты, можно заметить, что на основе данных 2011 и 2012 годов набора в состояниях  $T_2, T_3, T_5, T_6$ , соответствующих показателям  $M_2, M_3, M_5, M_6$ , точность прогноза составляет более 67 %, а в состоянии  $T_4$  прогноз улучшился на 10 %. На основе данных 2011–2013 годов набора в состояниях  $T_2, T_3, T_5, T_6$ , соответствующих показателям  $M_2, M_3, M_5, M_6$ , точность прогноза более 67 %, а прогноз успеваемости в состоянии  $T_1$  улучшился на 10 %, и в итоге в пяти состояниях точность прогноза от 60 % и выше.

Предсказанные прогнозом переходы студентов в состояния успеваемости  $T_5$  и  $T_6$ , соответствующие состояниям успеваемости «отчислен» или «близок к отчислению», полностью совпали с реальными данными. Самая низкая точность прогноза состояния успеваемости студентов  $T_4$ . Причинами этого может являться внешний сильно влияющий фактор, а именно устройство на работу или изменение семейного состояния студента. То есть модель предполагает, что внешние факторы не меняются, тогда модель дает более точный прогноз, так, например, в полученных результатах прогноза три студента должны находиться в состоянии  $T_4$ , а влияние указанных факторов приводят к изменению этой цифры, хотя потенциально они могли бы быть в других более «благополучных» состояниях успеваемости. Кроме этого, на протяжении нескольких лет замечено, что часть студентов начинает лучше учиться преимущественно во второй половине семестра и сдает некоторые экзамены с опозданием, но в восьмом семестре такое поведение может привести к отчислению, поэтому данные студенты могут демонстрировать худшую успеваемость, чем в предыдущих семестрах.

**Выводы.** В статье предложена методика прогноза успеваемости студентов, обучающихся по выбранному направлению с использованием математического аппарата цепей Маркова. Для реализации разработанной методики необходимо сформировать перечень возможных состояний студента, найти вероятности переходов студентов между состояниями и сформировать вероятностный прогноз результатов обучения для каждого семестра обучения. Для вычисления вероятности переходов использовались выборки ретроспективных данных, содержащих результаты успеваемости студентов предыдущих лет.

Проведена апробация предложенной методики для формирования прогноза успеваемости студентов Приднестровского государственного университета им. Т. Г. Шевченко направления подготовки «Информатика и вычислительная техника» (уровень бакалавриат). В качестве обучающей выборки были использованы данные успеваемости студентов наборов 2011–2013 годов, а в качестве контролирующей выборки данные успеваемости студентов 2014 года набора. Проведенная апробация предложенной методики показала, что можно прогнозировать состояние успеваемости студентов вуза с высокой степенью точности для категории отчисляемых студентов.

Полученные прогнозируемые данные могут быть использованы для повышения мотивации студентов к обучению уже по итогам первой сессии и повышению качества знаний обучающихся в течение всего периода обучения в вузе.

Предлагаемый подход позволяет оперировать понятием «состояние успеваемости обучающегося», данный подход является универсальным, независящим от толкований этого понятия. Разработанная методика для формирования прогноза успеваемости студентов в вузе с использованием марковских процессов на основе начального состояния группы обучающихся дает возможность обосновать выбор оптимального направления обучения.

### Список литературы

1. Апатова Н. В., Гапонов А. И., Майорова А. Н. Прогнозирование успеваемости студентов на основе нечеткой логики // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 4. С. 7–11. URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36630> (дата обращения: 12.09.2020).
2. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М. : Юстиция, 2018. 448 с.
3. Волков В. И. Цели и задачи системы профессиональной подготовки кадров на современном этапе // Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право». 2015. № 1. С. 20–29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tseli-i-zadachi-sistemy-professionalnoy-podgotovki-kadrov-na-sovremenno-m-etape> (дата обращения: 22.08.2020).
4. Воронкова Н. А. Сетевое взаимодействие «колледж – вуз – работодатель» в области гостиничного бизнеса // Научный вестник МГИИТ. 2015. № 4 (36). С. 70–71.
5. Гоголева Н. Г., Тарасова О. Ю. Прогнозирование успеваемости студентов вуза на основе цепей Маркова (на примере СПб ГЭТУ «ЛЭТИ») // Научные труды SWORLD. 2016. Т. 5. № 44. С. 104–109. URL:



<http://www.sworld.com.ua/index.php/uk/physics-and-mathematics-316/mathematics-316/28145-316-0546/978-5-4365-0435-3> (дата обращения: 22.08.2020).

6. Долгов Ю. А. Статистическое моделирование : учебник для вузов. 2-е изд., доп. Тирасполь : Полиграфист, 2011. 352 с.

7. Иванова Н. В. Подготовка высококвалифицированных специалистов в условиях социального партнерства // Педагогическая наука и практика. 2015. № 2 (8). С. 29–31. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podgotovka-vysokokvalifitsirovannyh-spetsialistov-v-usloviyah-sotsialnogo-partnerstva> (дата обращения: 14.08.2020).

8. Калинин А. В. Марковские ветвящиеся процессы с взаимодействием. УМН, 2002. Т. 57. № 2 (344). С. 23–84. DOI: 10.4213/rm496.

9. Каракозов С. Д. Психологические основания прогнозирования успешности учения студентов в вузе // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5071> (дата обращения: 18.09.2020).

10. Коляда М. Г., Бугаева Т. И., Ревякина Е. Г. и др. Реализация идей вычислительной педагогики в выборе форм обучения на основе марковской модели иерархий // Перспективы науки и образования. 2019. № 2 (38). С. 413–427. DOI: 10.32744/pse.2019.2.31.

11. Коляда М. Г., Бугаева Т. И. Педагогическое прогнозирование в компьютерных интеллектуальных системах : уч. пособие. М. : Русайнс, 2015. 380 с.

12. Котова Е. Е. Прогнозирование успешности обучения в интегрированной образовательной среде с применением инструментов онлайн аналитики // Компьютерные инструменты в образовании. 2019. № 4. С. 55–80. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-uspeshnosti-obucheniya-v-integrirovannoy-obrazovatelnoy-srede-s-primeneniem-instrumentov-onlayn-analitiki> (дата обращения: 15.09.2020).

13. Ляликова В. И., Хацкевич Г. А. Прогнозирование успешности обучения студентов в вузе на основании данных вступительных испытаний // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии : материалы междунар. науч. конгресса, республика Беларусь, Минск, 4–7 нояб. 2013 г. / редкол. : С. В. Абламейко (отв. ред.), В. В. Казаченок (отв. ред.) [и др.]. Минск : БГУ. 2013. С. 70–74. URL: [www.elib.bsu.by/bitstream/123456789/52067/1/68-72.pdf](http://www.elib.bsu.by/bitstream/123456789/52067/1/68-72.pdf) (дата обращения: 11.09.2020).

14. Маслякова И. Н. Модель процедуры обучения как марковского процесса // Обзорение прикладной и промышленной математики. 2011. Т. 18. № 1. С. 128.

15. Моисеев В. Б., Зубков А. Ф., Деркаченко В. Н. Прогнозирование успеваемости студентов по общепрофессиональным и специальным дисциплинам на основе регрессионных моделей // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление. 2010. № 6 (113). С. 169–173. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-uspevaemosti-studentov-po-obshcheprofessionalnym-i-spetsialnym-distiplinam-na-osnove-regressiionnyh-modeley> (дата обращения: 25.08.2020).

16. Мойсеенко С. С. Расчет прогностических оценок состояния успеваемости студентов // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки. 2019. № 1 (47). С. 241–246.

17. Мугуев Г. И. Методика «Контрольных недель» в анализе и оценке качества образовательного процесса в вузе // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2017. Т. 41. С. 35–37. URL: <http://e-koncept.ru/2017/771346.htm> (дата обращения: 15.08.2020).

18. Носков М. В., Сомова М. В., Федотова И. М. Управление успешностью обучения студента на основе марковской модели. Информатика и образование. 2018. № 10. С. 4–11. DOI: 10.32517/0234-0453-2018-33-10-4-11.

19. Сосницкий В. Н., Потанин Н. И. Вероятностный подход к анализу успеваемости студентов // Фундаментальные исследования, 2014. № 8-3. С. 734–738. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34625> (дата обращения: 08.07.2020).

20. Шапкина Д. Д., Липатникова В. А., Розова С. В. Управление качеством высшего образования // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Науки об обществе и гуманитарные науки. 2019. № 2 (17). С. 111–116.

21. Шевченко В. А. Прогнозирование успеваемости студентов на основе методов кластерного анализа // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2015. № 68. С. 15–18.

## Forecast of the results of academic performance of university students based on Markov processes

S. V. Pomyan<sup>1</sup>, O. S. Belokon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD in Pedagogical Sciences, associate professor of the Department of Computer Engineering Software and Automated Systems, T. G. Shevchenko Pridnestrovian State University. Moldova, Transnistria, Tiraspol. ORCID: 0000-0003-2777-3575. E-mail: svpomian@gmail.com

<sup>2</sup>senior lecturer of the Department of Computer Engineering Software and Automated Systems, T. G. Shevchenko Pridnestrovian State University. Moldova, Transnistria, Tiraspol. E-mail: key\_olga@mail.ru

**Abstract.** The relevance of the study is due to the fact that the university needs a reasonable forecast of the results of students' education at the early stages: during the submission of documents to the university admission committee, at the beginning of training, at the stage of choosing a further direction of study. The purpose of the article is to present a methodology for predicting the academic performance of university students by semesters, based on a sample of retrospective data, and to show the results of testing the developed methodology. The following research methods were used: theoretical analysis, modeling, expert methods, qualimetric methods, methods of probability theory and mathematical statistics, and the theory of random processes. As a result of the application of these methods, a method for predicting the progress of students in the chosen direction was developed using the mathematical apparatus of Markov chains. To implement the developed methodology, a list of possible student states is defined, the probabilities of students' transitions between states are found, and a probabilistic forecast of learning outcomes is formed for each semester of study. To calculate the probability of transitions, we used samples of retrospective data containing the results of students' academic performance in previous years. When testing the developed methodology, data on the academic performance of students of the 2011–2013 set of the T. G. Pridnestrovian State University were used as a training sample. Shevchenko's field of study "Computer Science and Computer Engineering", and as a control sample – data on the academic performance of students in 2014 set in the same direction. The conducted approbation showed that with a high degree of accuracy it is possible to predict the state of academic performance of university students for the category of expelled students. The predicted data can be used to increase student motivation to learn in the first session and improve the quality of students' knowledge during the entire period of study at the university. The scope of the results: theoretical aspects of the problems under consideration can be useful for researchers dealing with the issues of assessing the quality of training of students; practical aspects of teachers and academics of the university to solve the problems of students' progress.

**Keywords:** prognosis, prediction of students' performance, quality of education, qualimetry, the Markov chain.

### References

1. Apatova N. V., Gaponov A. I., Majorova A. N. *Prognozirovanie uspevaemosti studentov na osnove nechetkoj logiki* [Forecasting of students' progress on the basis of fuzzy logic] // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* – Modern high-tech technologies. 2017. No. 4. Pp. 7–11. Available at: <http://top-technologies.ru/article/view?id=36630> (date accessed: 12.09.2020).
2. Wentzel E. S., Ovcharov L. A. *Teoriya sluchajnyh processov i ee inzhenernye prilozheniya* [Theory of random processes and its engineering applications]. M. Justicia. 2018. 448 p.
3. Volkov V. I. *Celi i zadachi sistemy professional'noj podgotovki kadrov na sovremennom etape* [Goals and objectives of the system of professional training of personnel at the present stage] // *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya "Ekonomika i pravo"* – Herald of Udmurt University. Series "Economics and Law". 2015. No. 1. Pp. 20–29. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tseli-i-zadachi-sistemy-professionalnoy-podgotovki-kadrov-na-sovremennom-etape> (date accessed: 22.08.2020).
4. Voronkova N. A. *Setevoe vzaimodejstvie "kolledzh – vuz – rabotodatel" v oblasti gostinichnogo biznesa* [Network interaction "college-university-employer" in the field of hotel business] // *Nauchnyj vestnik MGIIT – Scientific herald of MGIIT*. 2015. No. 4 (36). Pp. 70–71.
5. Gogoleva N. G., Tarasova O. Yu. *Prognozirovanie uspevaemosti studentov vuza na osnove cepej Markova (na primere SPb GETU "LETI")* [Prediction of academic performance of University students on the basis of Markov chains (on the example of SPb State Electrotechnical University "LETI")] // *Nauchnye trudy SWORLD – Scientific works SWORLD*. 2016. Vol. 5 No. 44. Pp. 104–109. Available at: <http://www.sworld.com.ua/index.php/uk/physics-and-mathematics-316/mathematics-316/28145-316-0546/978-5-4365-0435-3> (date accessed: 22.08.2020).
6. Dolgov Yu. A. *Statisticheskoe modelirovanie : uchebnik dlya vuzov* [Statistical modeling : textbook for universities. 2nd ed., add.] Tiraspol. Polygraphist. 2011. 352 p.
7. Ivanova N. V. *Podgotovka vysokokvalificirovannyh specialistov v usloviyah social'nogo partnerstva* [Training of highly qualified specialists in the conditions of social partnership] // *Pedagogicheskaya nauka i praktika* – Pedagogical science and practice. 2015. No. 2 (8). Pp. 29–31. Available at: <https://cyberleninka.ru/>

article/n/podgotovka-vysokokvalifitsirovannyh-spetsialistov-v-usloviyah-sotsialnogo-partnerstva (date accessed: 14.08.2020).

8. Kalinkin A. V. *Markovskie vetvyashchiesya processy s vzaimodejstviem* [Markov branching processes with interaction]. UMN. 2002. Vol. 57. No. 2 (344). Pp. 23–84. DOI: 10.4213/rm496.

9. Karakozov S. D. *Psihologicheskie osnovaniya prognozirovaniya uspehnosti ucheniya studentov v vuze* [Psychological bases for predicting the success of students' teaching in higher education] // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* – Modern problems of science and education. 2011. No. 6. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5071> (date accessed: 18.09.2020).

10. Kolyada M. G., Bugaeva T. I., Revyakina E. G. i dr. *Realizaciya idej vychislitel'noj pedagogiki v vybore form obucheniya na osnove markovskoj modeli ierarhij* [Implementation of the ideas of computational pedagogy in the choice of forms of learning based on the Markov model of hierarchies] // *Perspektivy nauki i obrazovaniya* – Prospects of science and education. 2019. No. 2 (38). Pp. 413–427. DOI: 10.32744/pse.2019.2.31.

11. Kolyada M. G., Bugaeva T. I. *Pedagogicheskoe prognozirovanie v komp'yuternyh intellektual'nyh sistemah : uch. posobie* [Pedagogical forecasting in computer intelligent systems : textbook]. M. Rusains. 2015. 380 p.

12. Kotova E. E. *Prognozirovanie uspehnosti obucheniya v integrirovannoj obrazovatel'noj srede s primeneniem instrumentov onlajn analitiki* [Predicting the success of learning in an integrated educational environment with the use of online analytics tools] // *Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii* – Computer tools in education. 2019. No. 4. Pp. 55–80. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-uspehnosti-obucheniya-v-integrirovannoy-obrazovatel'noj-srede-s-primeneniem-instrumentov-onlajn-analitiki> (date accessed: 15.09.2020).

13. Lyalikova V. I., Hackevich G. A. *Prognozirovanie uspehnosti obucheniya studentov v vuze na osnovanii dannyh vstupitel'nyh ispytaniy* [Predicting the success of teaching students at a university based on the data of entrance tests] // *Mezhdunarodnyj kongress po informatike: informacionnye sistemy i tekhnologii : materialy mezhdunar. nauch. kongressa, respublika Belarus', Minsk, 4–7 noyab. 2013 g.* – International Congress on Informatics: Information Systems and Technologies: materials of the International Scientific Congress, Republic of Belarus, Minsk, 4–7 November 2013 / ed.: S. V. Ablameyko (ed.), V. V. Kazachenok (ed.) [et al.]. Minsk. BSU. 2013. Pp. 70–74. Available at: [www.elib.bsu.by/bitstream/123456789/52067/1/68-72.pdf](http://www.elib.bsu.by/bitstream/123456789/52067/1/68-72.pdf) (date accessed: 11.09.2020).

14. Maslyakova I. N. *Model' procedury obucheniya kak markovskogo processa* [Model of the learning procedure as a Markov process] // *Obozrenie prikladnoy i promyshlennoy matematiki* – Review of applied and industrial mathematics. 2011. Vol. 18. No. 1. P. 128.

15. Moiseev V. B., Zubkov A. F., Derkachenko V. N. *Prognozirovanie uspevaemosti studentov po obshcheprofessional'nym i special'nym disciplinam na osnove regressionnyh modelej* [Prediction of students' performance in general and special subjects on the basis of regression models] // *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika, telekommunikacii i upravlenie* – Scientific and technical news of Saint-Petersburg State Polytechnical University. Computer Science, Telecommunications and Management. 2010. No. 6 (113). Pp. 169–173. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-uspevaemosti-studentov-po-obshcheprofessional'nym-i-spetsialnym-distsiplinam-na-osnove-regressionnyh-modelej> (date accessed: 25.08.2020).

16. Mojseenko S. S. *Raschet prognosticheskikh ocenok sostoyaniya uspevaemosti studentov* [Calculation of prognostic assessments of the state of students' academic performance] // *Izvestiya Baltijskoy gosudarstvennoy akademii rybopromyslovogo flota: psikhologo-pedagogicheskie nauki* – News of Baltic State Academy of Fish Industry: Psychological and Pedagogical sciences. 2019. No. 1 (47). Pp. 241–246.

17. Muguev G. I. *Metodika "Kontrol'nyh nedel'" v analize i ocenke kachestva obrazovatel'nogo processa v vuze* [The methodology of "Control weeks" in the analysis and evaluation of the quality of the educational process in higher education] // *Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal "Koncept"* – Scientific and methodological electronic Journal "Concept". 2017. Vol. 41. Pp. 35–37. Available at: <http://e-koncept.ru/2017/771346.htm> (date accessed: 15.08.2020).

18. Noskov M. V., Somova M. V., Fedotova I. M. *Upravlenie uspehnost'yu obucheniya studenta na osnove markovskoj modeli. Informatika i obrazovanie* [Management of student learning success based on the Markov model] // *Informatika i obrazovanie* – Computer Science and Education. 2018. No. 10. Pp. 4–11. DOI: 10.32517/0234-0453-2018-33-10-4-11.

19. Sosnickij V. N., Potanin N. I. *Veroyatnostnyj podhod k analizu uspevaemosti studentov* [Probabilistic approach to the analysis of student performance] // *Fundamental'nye issledovaniya* – Fundamental Research. 2014. No. 8-3. Pp. 734–738. Available at: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34625> (date accessed: 08.07.2020).

20. Shapkina D. D., Lipatnikova V. A., Rozova S. V. *Upravlenie kachestvom vysshego obrazovaniya* [Quality management of higher education] // *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nauki ob obshchestve i gumanitarnye nauki* – Herald of the Tver State Technical University. Series: Social Sciences and Humanities. 2019. No. 2 (17). Pp. 111–116.

21. Shevchenko V. A. *Prognozirovanie uspevaemosti studentov na osnove metodov klasternogo analiza* [Forecasting of student performance based on cluster analysis methods] // *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* – Herald of the Kharkiv National Automobile and Road University. 2015. No. 68. Pp. 15–18.