

CZU: 371.261+378.147

DOI: 10.36120/2587-3636.v23i1.78-87

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСПЕШНОСТИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ВУЗА НА ОСНОВЕ МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

Светлана ПОМЯН, к.п.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-2777-3575>

Ольга БЕЛОКОНЬ, старший преподаватель

<https://orcid.org/0000-0002-2559-0890>

ПГУ им. Т.Г. Шевченко

Аннотация. В статье рассматривается задача прогнозирования успешности обучения студентов вуза. Представлена разработанная авторами методика прогнозирования успешности обучения студентов вуз на основе марковских процессов. В статье приведены результаты апробации методики прогнозирования для выбранного направления подготовки студентов и оценка погрешности апробации, проанализированы полученные результаты.

Ключевые слова: прогнозирование успешности обучения, методика прогнозирования успешности обучения, качество обучения, квалиметрия.

PREDICTING THE SUCCESS OF TRAINING OF UNIVERSITY STUDENTS BASED ON MARKOV PROCESSES

Abstract. The article discusses the problem of predicting the success of training university students. The authors present a methodology for predicting the success of training university students based on Markov processes. The article presents the results of approbation of the forecasting methodology for the chosen direction of training students and the assessment of the approbation error, the results are analyzed.

Keywords: prognostication in the sphere of education, methodology for predicting the success of training university students, quality of education, qualimetry.

Введение

Актуальность разработки методики прогнозирования успешности обучения студента в вузе обусловлен тем, что вузу необходим обоснованный прогноз результатов обучения студентов на ранних стадиях: на первом-втором семестре; на стадии выбора дальнейшего направления обучения после окончания первого курса. Наличие такой методики даст возможность, сопоставив исходные данные (например, результаты первого-второго семестра) студента с имеющимися данными результатов обучения на различных направлениях, с высокой долей вероятности, определить, какую направленность (профиль) лучше выбрать. Основываясь на входных данных о студентах, а также на данных о студентах, уже закончивших обучение по выбранному направлению, произведя анализ этих данных, можно 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. 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 [1].

Целью исследования является разработка методики, которая позволит спрогнозировать успеваемость определенной группы обучающихся в вузе по семестрам, опираясь на выборку ретроспективных данных.

Задачи работы. Осуществить сбор информации об успеваемости обучающихся в вузе (не менее чем за три года) по выбранному направлению. Сформировать перечень возможных состояний студентов, сформулировать критерии распределения студентов по состояниям успеваемости. Разработать методику прогнозирования успешности обучения студентов в вузе. Провести апробацию разработанной методики на реальных данных успеваемости студентов.

Методы исследования

Моделирование, экспертные методы, квалиметрические методы, экспертные методы, методы теории вероятностей и математической статистики, математический аппарат теории случайных процессов – цепи Маркова.

Модели и подходы к формированию прогноза успешности обучения студентов вуза рассмотрены в работах Н.Г. Гоголевой, О.Ю. Тарасовой [2], М.Г. Коляды, Т.И. Бугаевой, Е.Г. Ревякиной и др. [3, 4], В.И. Ляликовой, Г.А. Хацкевич [5], Г.И. Мугуева [6], В.Н. Сосницкого, Н.И. Потанина [7], В.А. Шевченко [8]. Проанализировав модели и подходы прогноза успешности обучения студентов вуза, можно сделать вывод о том, что в настоящее время использование методов математико-статистической обработки данных, применение возможностей современной электронно-вычислительной техники для обработки и анализа больших массивов данных, полученных в ходе исследований, и построения статистических моделей позволяет оценить текущее состояние учебных достижений студентов и осуществить прогноз их будущих состояний [2, 5, 7, 8]. А значит, важными и актуальными является задача разработки методики прогнозирования успешности обучения студентов на основе исходных данных.

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

В качестве математического аппарата используем цепи Маркова.

Методика прогнозирования успешности обучения студентов вуза представлена в виде последовательности следующих шагов:

Шаг 1. Формирование перечня возможных состояний студентов.

Шаг 2. Ретроспективные данные – распределение результатов успеваемости студентов на n непересекающихся групп, в соответствии с критериями попадания в определенное состояние студента, в начальный момент времени $t = 0$ (первый семестр).

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. Прогнозируемый набор данных – распределение результатов успеваемости студентов на n непересекающихся групп, в соответствии с критериями попадания в определенное состояние студента, в начальный момент времени $t = 0$.

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

Шаг 7. Округление полученных значения округляем до целых значений, в результате – матрица, 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 которого позволит реализовать методику формирования прогноза успешности обучения 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 успешности обучения студентов, поступивших в вуз.

Шаг 8 описывает действия по определению точности полученного прогноза успешности обучения студентов вуза.

Апробация методики для формирования прогноза успешности студентов вуза

Применим подход, описанный выше, для прогнозирования успешности обучения студентов вуза набора 2014 года. Общее число студентов, для которых будем формировать прогноз успешности обучения, 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 года набора (99 человек) и для 2011-2013 года набора (147 человек). Общее число студентов, успеваемость которых используется для построения матрицы вероятностей переходов из одного состояния в другое, составляет 147 человек.

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 номер 1, 2, 3, ..., 8. Критерием разбиения студентов по состояниям выберем средний балл успеваемости ($Srб$) по итогам каждой сессии, тогда состояния успеваемости студентов могут быть представлены в следующем виде:

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

Общее количество обучающихся 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. Так как основная часть студентов по результатам сессии продолжает учиться в вузе, а лишь небольшая часть отчисляется из него, то можно говорить о двух ветвях случайного процесса – доминантной, студенты учатся с теми или иными оценками, и побочной, часть студентов по результатам успеваемости отчисляется.

Второй шаг. Сформируем начальное состояние студентов набора 2011 года, для чего создадим таблицу, содержащую следующую информацию: фамилия студента, учебные дисциплины, выносимые на сессию, и результаты экзаменационной

сессии для каждого студента (таблица 1). Используя средний балл, как критерий попадания в определённое состояние, построим начальное состояние для каждого студента по первому семестру.

Таблица 1. Исходные данные первого семестра для 2011 года набора, (фрагмент)

№ п/п	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)

№ п/п	ФИО	1 сем	2 сем	3 сем	4 сем	5 сем	6 сем	7 сем	8 сем
1	Б.Л.А.	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 $t = 0$.

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
M_1	11	6	8	7	7	7	9	15
M_2	15	16	14	14	14	15	14	11
M_3	6	8	3	4	7	5	6	7
M_4	20	18	17	17	11	10	8	4
M_5	0	1	0	0	1	1	0	0
M_6	0	3	10	10	12	14	15	15

Подсчитаем общее число студентов в каждом состоянии в момент времени $t = 0$, $t = 1$ (по итогам второго семестра) и так далее в момент 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.

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
1-2	6	5	0	0	0	0	1-2	0	0	1	16	1	2
2-3	5	1	0	0	0	0	2-3	0	0	0	13	0	5
3-4	5	3	0	0	0	0	3-4	0	1	1	15	0	0
4-5	7	0	0	0	0	0	4-5	0	2	4	9	1	1
5-6	6	1	0	0	0	0	5-6	0	1	1	7	1	1
6-7	7	0	0	0	0	0	6-7	0	1	2	7	0	0
7-8	9	0	0	0	0	0	7-8	1	1	2	4	0	0

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

Четвёртый 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
1-2	0,55	0,45	0	0	0	0	1-2	0	0	0,05	0,8	0,05	0,1
2-3	0,83	0,17	0	0	0	0	2-3	0	0	0	0,72	0	0,28
3-4	0,63	0,38	0	0	0	0	3-4	0	0,06	0,06	0,88	0	0
4-5	1	0	0	0	0	0	4-5	0	0,12	0,24	0,53	0,06	0,06
5-6	0,86	0,14	0	0	0	0	5-6	0	0,09	0,09	0,64	0,09	0,09
6-7	1	0	0	0	0	0	6-7	0	0,1	0,2	0,7	0	0
7-8	1	0	0	0	0	0	7-8	0,13	0,13	0,25	0,5	0	0

Обозначение вида p_j^i показывает вероятность перехода из состояния i в состояние j . Например, p_2^1 – это 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 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 $t = 0$) набора 2014 года. Прогнозируемые данные успеваемости студентов вуза 2014 года набора отображены в таблице 6.

Таблица 6. Прогнозируемые данные 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}
1-2	0	0	0	0	0	0	1-2	0	1	0,5	7	0,5	1
2-3	0,3	0,12	0	0	0	0	2-3	0	0	0	5,6	0	2,8
3-4	0,95	0,71	0	0	0	0	3-4	0	1,67	0	6,68	0	0
4-5	1,98	0,33	0	0	0	0	4-5	0	2,83	1,13	2,27	0,57	0,57
5-6	1,65	0,33	0	0	0	0	5-6	0	0	0,53	2,12	0,53	0
6-7	2,61	0	0	0	0	0	6-7	0	0,51	1,54	3,58	0	0
7-8	3,08	0	0	0	0	0	7-8	0,51	0,51	1,01	2,03	0	0

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

Прогноз успеваемости студентов набора 2014 года на основе ретроспективных данных 2011 набора по всем восьми семестрам (весь период обучения) представлен в таблице 6.

Таблица 6. Прогнозируемые значения успешности студентов для 2014 года набора

Семестр Прогноз	1	2	3	4	5	6	7	8
M₁	0	0,4444	1,6663	2,3120	1,9817	2,6109	3,0813	6,4509
M₂	8	9,1333	8,6123	10,0663	11,9934	7,5263	7,6341	5,3008
M₃	7	5,5222	0,6903	1,5746	1,5915	1,9697	2,4990	3,4900
M₄	10	8,4000	8,3506	7,3707	3,1830	5,6325	4,0547	2,0274
M₅	0	1,5000	0,0000	0,0000	0,5670	0,5305	0,0000	0,0000
M₆	1	1,0000	6,6806	4,6764	6,6834	7,7301	8,7310	8,7310

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

Таблица 8. Прогноз успеваемости студентов 2014 года набора (округление)

Семестр Прогноз	1	2	3	4	5	6	7	8
M₁	0	0	2	2	2	3	3	6
M₂	8	9	9	10	12	8	8	5
M₃	7	6	1	2	2	2	2	3
M₄	10	8	8	7	3	6	4	2
M₅	0	2	0	0	1	1	0	0
M₆	1	1	7	5	7	8	9	9

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

значениям и проанализируем полученный результат. Сначала выполним количественное сравнение данных по семестрам прогноза успеваемости студентов набора 2014 года по значениям успеваемости набора 2011 года и реальным значениям успеваемости студентов набора 2014 года. Выделим цветом те значения, которые совпали полностью (таблица 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
M_1	0	0	2	2	2	3	3	6	M_1	0	4	1	4	3	3	3	3
M_2	8	9	9	10	12	8	8	5	M_2	8	5	5	2	4	5	6	6
M_3	7	6	1	2	2	2	2	3	M_3	7	5	7	6	3	6	2	2
M_4	10	8	8	7	3	6	4	2	M_4	10	10	8	9	9	3	6	6
M_5	0	2	0	0	1	1	0	0	M_5	0	0	0	0	0	0	0	0
M_6	1	1	7	5	7	8	9	9	M_6	1	2	5	5	7	9	9	9

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.

Таблица 10. Погрешность прогноза успеваемости студентов набора 2014 года

	Прогноз (8 семестр)	Реальность (8 семестр)	Погрешность, %
M_1	6	3	50
M_2	5	6	20
M_3	3	2	33
M_4	2	6	60
M_5	0	0	0
M_6	9	9	0

Вычислим погрешность прогноза успеваемости студентов и реальных значений по итогам восьмого семестра. В таблице 10 представлен результат прогноза успеваемости и реальных данных студентов набора 2014 года. Видно, что в состояниях T_2 , T_3 , T_5 , T_6 точность прогноза удовлетворительная, находится в пределах 50-100%, а в состоянии T_4 точность мала (не превышает 40%). Это можно объяснить тем, что студенты 2014 года набора в восьмом семестре, в отличие от студентов 2011 года набора устроились на работу, что повлияло на чистоту эксперимента.

Заметим, что количество отчисленных студентов предсказано точно.

Проанализируем данные трёх прогнозов успеваемости студентов и реальные значения успеваемости студентов набора 2014 года. В таблице 11 отображены данные, полученные на основе сформированного прогноза успеваемости студентов

по итогам восьмого семестра (момент времени $t = 7$), и реальные значения успеваемости после восьмого семестра.

Таблица 11. Прогноза успеваемости студентов набора 2014 года и реальные значения успеваемости по итогам второго семестра

	Прогнозируемые значения						Реальные значения
	2011	Погрешность, %	2011-2012	Погрешность, %	2011-2013	Погрешность, %	2014 г.
M_1	6	50	6	50	5	40	3
M_2	5	20	5	20	5	20	6
M_3	3	33	3	33	3	33	2
M_4	2	50	3	50	3	50	6
M_5	0	0	0	0	0	0	0
M_6	9	0	9	0	9	0	9

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 удовлетворительная в пределах от 50% до 100%, 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 точность прогноза удовлетворительная в пределах от 60% до 100%, а прогноз успеваемости в состоянии T_1 улучшился ещё на 10%.

Отметим, что предсказанные прогнозом переходы студентов в состояния успеваемости T_5 и T_6 (состояния успеваемости «отчислен» или очень близкий 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: студенты устроились на работу; изменение семейного состояния студента. То есть модель предполагает, что внешние факторы не меняются, в этом случае модель даёт более точный прогноз, например, 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, часть студентов с должной степенью усердия начинают учиться преимущественно во второй половине семестра, и сдают часть экзаменов 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 успешности обучения студентов вуза, которая позволяет сформировать прогноз успеваемости группы студентов, обучающихся по выбранному направлению с использованием математического аппарата цепей Маркова. Для этого 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 успешности обучения студентов вуза. 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 успешности обучения 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.

Литература

1. Воронкова Н.А. Сетевое взаимодействие «колледж–вуз–работодатель» в области гостиничного бизнеса. В: Научный вестник МГИИТ, 2015, № 4 (36), с. 70–71.
2. Гоголева Н.Г., Тарасова О.Ю. Прогнозирование успеваемости студентов вуза на основе цепей Маркова (на примере СПб ГЭТУ «ЛЭТИ»). 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: 15.06.2020].
3. Коляда М.Г., Бугаева Т.И., Ревякина Е.Г. и др. Реализация идей вычислительной педагогики в выборе форм обучения на основе марковской модели иерархий. В: Перспективы науки и образования, 2019. № 2 (38), с. 413-427.
4. Коляда М.Г., Бугаева Т.И. Педагогическое прогнозирование в компьютерных интеллектуальных системах: Уч. пособие. М.: Изд-во «Русайнс», 2015. 380 с.
5. Ляликова В.И., Хацкевич Г.А. Прогнозирование успешности обучения студентов в вузе на основании данных вступительных испытаний. URL: www.elib.bsu.by/bitstream/123456789/52067/1/68-72.pdf [11.07.2020].
6. Мугуев Г.И. Методика «Контрольных недель» в анализе и оценке качества образовательного процесса в вузе. В: Научно-методический электронный журнал «Концепт», 2017. Т. 41, с. 35–37. URL: <http://e-koncept.ru/2017 /771346.htm> [дата обращения: 15.08.2020].
7. Сосницкий В.Н., Потанин Н.И. Вероятностный подход к анализу успеваемости студентов. В: Фундаментальные исследования, 2014. № 8-3, с. 734-738. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34625> [08.07.2020].
8. Шевченко В. А. Прогнозирование успеваемости студентов на основе методов кластерного анализа. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n /prognozirovanie-uspevaemosti-studentov-na-osnove-metodov-klaster-nogo-analiza/viewer> [18.08.2020].