

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СУБЪЕКТОВ
В СЛОЖНОЙ СОЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ**

Бобков С.П., Астраханцева И.А., Кутузова А.С.

Бобков Сергей Петрович (ORCID 0000-0001-7315-1625), Астраханцева Ирина Александровна (ORCID 0000-0003-2841-8639), Кутузова Анна Сергеевна (ORCID 0000-0002-7511-1667)
Ивановский государственный химико-технологический университет,
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7.
E-mail: bsp@isuct.ru, i.astrakhtantseva@mail.ru, as_kutuzova@mail.ru

Статья посвящена исследованию эффективности мероприятий вуза по привлечению абитуриентов. Инструментом оценки предпочтений абитуриентов выбрано математическое моделирование. Основным способом передачи информации принято считать непосредственные контакты между абитуриентами. Потенциальные абитуриенты были разделены на группы, выбравшие определенные направления подготовки, и не определившиеся с выбором. Полученная математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка позволяет описать изменение состава рассматриваемой системы во времени при конкретных начальных условиях. Имитационная модель процесса дала возможность исследовать влияние сроков проведения акций по привлечению абитуриентов на эффективность профориентационной работы. Анализ данных показывает, что наибольшую результативность имеют мероприятия, проводимые в начале приемной кампании, что подтверждает мнение о необходимости более раннего начала работы по профориентации.

Ключевые слова: математическое моделирование, детерминированные модели, стохастические модели, дифференциальные уравнения, профессиональная ориентация.

**SIMULATION MODELING OF A SUBJECTS' BEHAVIOR
IN A COMPLEX SOCIAL SYSTEM**

Bobkov S.P., Astrakhtantseva I.A., Kutuzova A.S.

Bobkov Sergej Petrovich (ORCID 0000-0001-7315-1625), Astrakhtantseva Irina Aleksandrovna (ORCID 0000-0003-2841-8639), Kutuzova Anna Sergeevna (ORCID 0000-0002-7511-1667)
Ivanovo State University of Chemical Technology,
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.
E-mail: bsp@isuct.ru, i.astrakhtantseva@mail.ru, as_kutuzova@mail.ru

The article is focused on the university's measures to attract applicants and its effectiveness. Mathematical modeling was chosen as a tool of assessing the preferences of applicants. The main way of transmitting information is considered to be direct contacts between applicants. Potential applicants were divided into 2 types of groups: one chose certain areas of training, and the other did not make a choice. The result model was made in the form of a set of first order differential equations and allows describing the change of details of a system under specific initial conditions. The simulation model of a process gave the opportunity to investigate the influence of competition period of attracting applicants to the effectiveness of occupational guidance of the university. The data analysis shows that the events carried out at the beginning of attractive campaign have the greatest effectiveness than the next ones. It confirms necessity to start competition periods of occupational guidance work earlier.

Keywords: mathematical modeling, deterministic models, stochastic models, differential equations, occupational guidance.

Актуальность проблемы

Одной из главных целей приемной кампании высшего учебного заведения является привлечение наиболее мотивированных абитуриентов. Следует заметить, что в настоящее время усиливается конкуренция вузов за наиболее подготовленных и сделавших осмысленный выбор абитуриентов [1].

Приемная кампания вуза, как правило, включает в себя множество мероприятий, проводимых как в течение учебного года (олимпиады, конкурсы, дни открытых дверей, открытие лекции и мастерклассы, проектная работа), так и во время подачи документов в вуз. Каждое из мероприятий, очевидно, имеет определенную степень эффективности, зависящую от количества участников, содержания, времени проведения.

Повышению эффективности приемной кампании будет способствовать широкая информатизация деятельности приемных комиссий и, в частности, применение в их работе математических методов прогнозирования поведения абитуриентов [2]. С помощью математического моделирования возможна оценка результативности мероприятий в рамках привлечения абитуриентов и определение наиболее целесообразных методов продвижения образовательных услуг.

Постановка задачи

Одной из основных задач профориентации на стадии выбора направления подготовки является активное распространение информации [3]. Для этого вузы используют различные мероприятия – создание и распространение рекламных материалов, активные действия в Интернет-пространстве, использование коммуникационных мероприятий с целевой аудиторией (встречи, дни открытых дверей, конкурсы, олимпиады и пр.). В то же время психологи отмечают, что в силу особенностей своего возраста старше школьники, испытывая большую потребность в общении, уделяют серьезное внимание мнению ровесников [4].

В этой связи, при постановке задачи исследования основным способом передачи информации было принято считать непосредственные контакты между собой претендентов на поступление в вуз. Данная гипотеза позволила при разработке математической модели использовать некоторые приемы, характерные для задач распространения эпидемий [5-10].

Рассмотрим следующие исходные положения. Исходный массив людей разбивается на три типа (группы):

- группа людей, еще определившихся с будущим направлением подготовки (индекс «0»);

- группа людей, выбравших «правильное» (с точки зрения приемной комиссии) направление подготовки (индекс «1»);

- группа людей, выбравших иные (конкурирующие) направления подготовки (индекс «2»).

Нормируя исходный массив на единицу, получим следующее уравнение.

$$S_0(t) + S_1(t) + S_2(t) = 1 \quad (1)$$

где $S_i(t)$ – относительное количество людей в каждой из описанных групп в определенный момент времени t .

Установим следующие правила поведения.

При контакте представителей групп «0» и «1» происходит переход некоторой части людей из «0» в «1».

При контакте представителей групп «0» и «2» происходит переход некоторой части людей из «0» в «2». При контакте представителей групп «1» и «2» происходит переход некоторой части людей из «1» в «2», а также обратный переход из «2» в «1».

Будем считать, что предпочтения абитуриентов во времени могут меняться, поэтому добавим еще два правила поведения системы [7С]:

С течением времени у представителей группы «1» наблюдается снижение интереса к выбранному направлению подготовки и происходит возврат некоторой части людей из «1» в «0».

Аналогично, с течением времени у некоторых представителей группы «2» происходит снижение интереса к выбранному направлению подготовки, и они переходят из «2» в «0».

Таким образом, в системе происходят следующие процессы.

Увеличение количества людей в группе «1» за счет контактов с представителями группы «0», т.е. переход («0»→«1»). Если допустить, что количество лиц, принявших участие в данном переходе пропорционально числу контактов между представителями групп «0» и «1», то искомая величина будет равна $\alpha S_0 S_1$, где α – параметр, отражающий интенсивность перехода еще не определившихся с выбором направления в группу, выбравших целевое направление. Одновременно, на такую же величину $\alpha S_0 S_1$ уменьшается количество людей в группе «0».

Увеличение количества людей в группе «1» за счет контактов с представителями группы «2», т.е. переход («2»→«1»), который количественно описывается, как $\varepsilon S_2 S_1$, где ε – параметр, отражающий интенсивность перехода лиц, выбравших ранее альтернативное направление в группу сторонников целевого направления.

Одновременно, на такую же величину уменьшается количество людей в группе «2».

Увеличение количества людей в группе «2» за счет контактов с представителями группы «0», т.е. переход («0»→«2»), который количественно равен $\beta S_0 S_2$, где β - параметр, отражающий интенсивность перехода не определившихся с выбором индивидов в группу выбравших альтернативное направление. Одновременно, на такую же величину уменьшается количество людей в группе «0».

Увеличение количества людей в группе «1» за счет контактов с представителями группы «1», т.е. переход («1»→«2»), который описывается, как $\phi S_1 S_2$, где ϕ - параметр, отражающий интенсивность перехода лиц, ранее выбравших целевое направление, в группу лиц, отдавших предпочтение другим направлениям. Одновременно, на такую же величину уменьшается количество людей в группе «1».

Уменьшение количества людей в группе «1» за счет снижения их интереса к выбранному направлению, т.е. переход («1»→«0»), который формулируется, как γS_1 , где γ - параметр, отражающий интенсивность снижения во времени интереса к выбранному направлению. Одновременно, на такую же величину увеличивается количество людей в группе «0».

Уменьшение количества людей в группе «2» за счет снижения их интереса, т.е. переход («2»→«0»), которые описывается, как δS_2 , где δ - параметр, отражающий интенсивность снижения интереса к выбранным направлениям. Одновременно, на такую же величину увеличивается количество людей в группе «0».

Синтез математической модели

Приведенные рассуждения позволяют записать следующие уравнения.

Динамика изменения количества группы «0»:

$$\frac{dS_0(t)}{dt} = -\alpha S_0(t) S_1(t) + \gamma S_1(t) - \beta S_0(t) S_2(t) + \delta S_2(t)$$

Динамика изменения количества группы «1»:

$$\frac{dS_1(t)}{dt} = \alpha S_0(t) S_1(t) - \gamma S_1(t) + \epsilon S_1(t) S_2(t) - \phi S_1(t) S_2(t)$$

Динамика изменения количества группы «2»:

$$\frac{dS_2(t)}{dt} = \beta S_0(t) S_2(t) - \delta S_2(t) + \phi S_1(t) S_2(t) - \epsilon S_1(t) S_2(t)$$

Одно из приведенных уравнений можно заменить уравнением баланса (1)

Окончательно можно получить.

$$\begin{cases} \frac{dS_0(t)}{dt} = -S_0(t) [\alpha S_1(t) + \beta S_2(t)] + \gamma S_1(t) + \delta S_2(t) \\ \frac{dS_1(t)}{dt} = S_1(t) [\alpha S_0(t) + (\epsilon - \phi) S_2(t) - \gamma] \\ S_0(t) + S_1(t) + S_2(t) = 1 \end{cases} \quad (2)$$

Полученная математическая модель (2) в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка позволяет описать изменение состава рассматриваемой системы во времени при конкретных начальных условиях.

На рис. 1 представлено решение системы (2). На оси абсцисс рисунка указано текущее время, единица которого примерно соответствует одной неделе. На оси ординат приводится относительное количество людей в каждой из групп рассматриваемой системы. При моделировании были взяты следующие параметры $a = 0,18$; $b = 0,2$; $g = d = 0,03$; $e = f = 0,01$. Начальные условия: $S_0(0) = 0,97$; $S_1(0) = 0,01$; $S_2(0) = 0,02$. Значения констант в уравнениях системы (2) определялись путем анализа статистических данных о результатах приемной кампании в регионе за несколько последних лет.

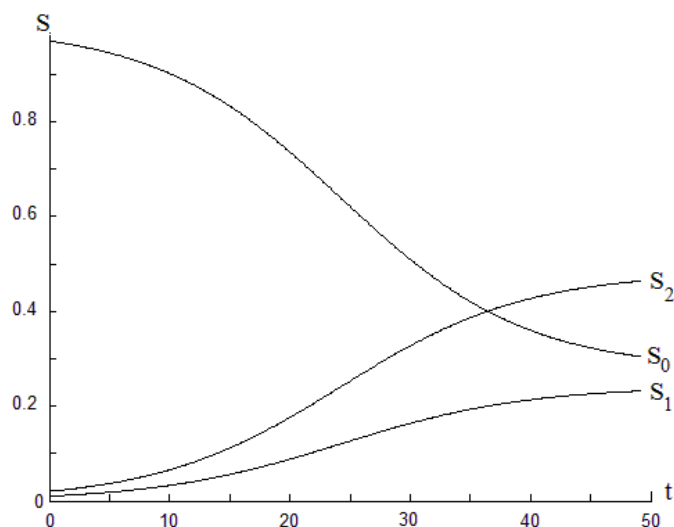


Рис. 1. Динамика изменения относительного количества абитуриентов по группам
Pic 1. Dynamics of changes in relative number of applicants by groups

Полученные результаты, в целом, качественно отражают изменения состава групп абитуриентов. Как и в реальных условиях, относительное количество абитуриентов, выбравших какое-либо направление подготовки (S1 и S2), увеличивается, а число не определившихся с выбором (S0) – падает.

Тем не менее, модель вида (2) не учитыва-

ет ряд моментов, присущих действительным условиям. К тому же изучение данных о поведении абитуриентов во время приемных кампаний и анализ литературных источников [11-18] показал, что непрерывные детерминированные модели не могут адекватно описать сложную динамику исследуемого объекта.

Модернизация модели

Усложним правила поведения представителей рассматриваемой системы.

В модели (1) – (2) изменение количественного состава групп происходит только путем контакта между представителями групп и за счет снижения интереса («забывание»). В реальных условиях всегда проводятся специальные мероприятия, направленные на повышение интереса к направлениям подготовки.

Введем предположения:

- Проведение специальных мероприятий сразу же увеличивает число людей в группе «1», переводя их из группы «0».

-Аналогичные мероприятия конкурентов увеличивают число людей в группе «2», также забирая их из группы «0».

Следовательно, в системе в отдельные дискретные моменты времени происходят следующие процессы.

Ступенчатое увеличение количества людей в группе «1», как следствие специального мероприятия, т.е. переход («0»→«1»), который описывается, как ηS_0 . Здесь η - параметр, отражающий интенсивность данного перехода.

Ступенчатое увеличение количества людей в группе «2», как следствие конкурентных рекламных мероприятий, т.е. переход («0»→ «2»), который описывается, как θS_0 . Здесь θ - параметр интенсивности перехода. Будем считать, что параметры проведения специальных мероприятий (их количество и периодичность) при агитации людей в группу «1» можно регулировать (управляемые параметры). В то же время, для группы конкурентов «2» значения данных параметров, в принципе заранее неизвестны (случайные параметры).

Указанные процессы описываются следующими выражениями.

$$S_1(t^*) = S_1(t) + \eta S_0(t) \quad (3)$$

и $S_0(t^*) = (1 - \eta) S_0(t)$ где t^* - заданные моменты времени (проведение специальных мероприятий); t – текущее время.

$$S_2(\tau^*) = S_2(t) + \theta S_0(t) \quad (4)$$

$$и S_0(\tau^*) = (1 - \theta) S_0(t)$$

где τ^* - случайные моменты времени (проведение специальных мероприятий конкурентами).

Таким образом, специальные мероприятия, проводимые для привлечения людей в группу «1», можно рассматривать, как детерминированный поток событий, для которого интервалы $[t^*i - t^*i-1]$ заранее заданы. В то же время, для потока событий, который образуют специальные мероприятия, проводимые конкурентами, интервалы $[\tau^*i - \tau^*i-1]$ являются случайными величинами. После проведенной модификации модель перестала быть непрерывной и приобрела характерные стохастические черты имитационной модели. Для проведения численных экспериментов с усовершенствованной моделью был реализован имитационный алгоритм, базирующийся на зависимостях (2) – (4). При этом моменты времени t^*i задавались принудительно в исходных данных. Моменты времени τ^*i генерировались программой, исходя из предположения, что данный поток событий подчиняется равномерному распределению случайных величин.

На рис. 2. представлена одна из реализаций случайного процесса изменения предпочтений абитуриентов при выборе направления подготовки. К исходным данным предыдущего расчета были добавлены параметры $\eta = \theta = 0,05$. Специальные мероприятия, для привлечения абитуриентов в группу, осуществлялись на неделях под номерами: 5, 10, 15, 35, 40, 45. Акции конкурентов проходили в случайные моменты времени. Ежедневная вероятность таких акций была принята равной 0,1.

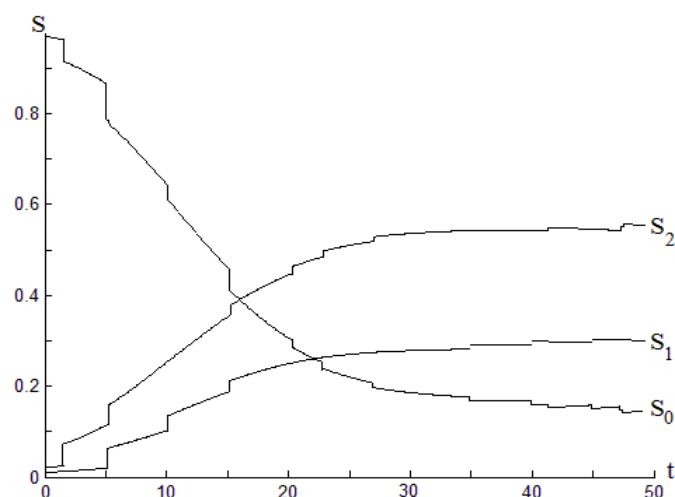


Рис. 2. Изменение относительного количества абитуриентов с учетом специальных акций

Pic 2. Change in the relative number of applicants taking into account special promotions

Полученные результаты не противоречат практическому опыту. В частности, сравнивая рис.1 и рис.2 нетрудно заметить положительное влияние специальных мероприятий по привлечению абитуриентов на их окончательное количество S1 и S2 в исследуемых группах.

Полученная имитационная модель процесса дала возможность исследовать влияние сроков проведения акций по привлечению абитуриентов на эффективность профориентационной работы. Возможность принудительно создавать расписание агитационных мероприятий для группы S1 дала возможность считать этот параметр модели управляющим. В то же время даты проведения рекламных акций конкурентами являлись неиз-

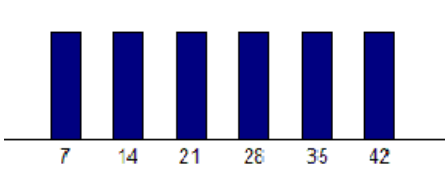
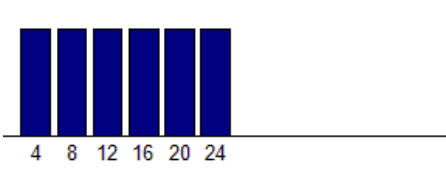
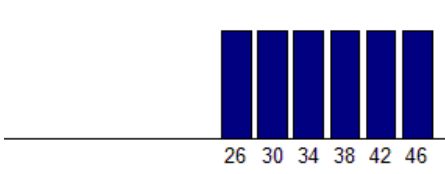
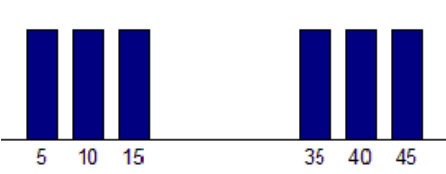
вестными и моделировались как случайные.

Был проведен анализ зависимости расписания проведения мероприятий на количество абитуриентов в группе S1. Рассматривались четыре примера распределения мероприятий во времени. При этом общее количество мероприятий оставалось постоянным и равным шести.

Результаты приведены в таблице 1. В таблице приведены виды и графики распределений сроков проведения агитационных акций в течение всего исследуемого периода и относительное количество (доля) абитуриентов в группе S1 к концу периода. Доля абитуриентов вычислялась, как среднее значение из 100 реализаций численных опытов.

Таблица 1

Зависимость количества абитуриентов от периодичности проведения мероприятий
Table 1. Dependence of number of applicants on the frequency of events

Распределение мероприятий	1. Равномерное	2. Концентрация в начале периода
График распределения		
Доля абитуриентов в группе S1	0,24	0,32
Распределение мероприятий	3. Концентрация в конце периода	4. Концентрация по краям периода
График распределения		
Доля абитуриентов в группе S1	0,15	0,31

Анализ данных показывает, что наилучшие результаты возможны при распределениях 2 и 4, что подтверждает мнение о необходимости более раннего начала работы по профориентации. Равномерное расписание агитационных мероприятий (распределение 1) показывает меньшую эффективность по сравнению с распределениями 2 и 4. Однако особенно неудовлетворительные результаты получены при распределении 3, где вся необходимая работа перенесена на вторую половину приемной кампании. Следует отметить, что представленные в табл.1 тенденции сохраняются при изменении коэффициентов уравнений (2) – (4) в пределах $\pm 20\%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты показывают, что предложенная модель, в целом, правильно описывает тенденции изменения динамики предпочтений абитуриентов во время профориентационной кампании. Другим положительным аспектом модели может служить то обстоятельство, что она базируется на обыкновенных дифференциальных уравнениях, что определяет ее простоту и возможность аналитического исследования. В этом смысле рассматриваемая модель может служить базой для создания более адекватных описаний исследуемого процесса. В то же время, проведенные исследования показали и отрицательные стороны данного подхода.

Оказалось, что использование дифференциальных уравнений имеет свою отрицательную сторону. При построении модели предполагалось, что передача информации между представителями представители различных групп происходит при их непосредственном контакте. Само по себе это предположение является верным, но при использовании дифференциальных уравнений интенсивность переходов между группами пропорциональна количеству людей в них. Но это предусматривает равномерное распределение индивидов в общем массиве. Полученные уравнения относятся к моделям «среднего поля», в которых взаимное влияние элементов аппроксимируется усредненным эффектом [19]. Равномерность распределения изучаемых людей во многих случаях не соответ-

ствует реальной ситуации. Напротив, молодые люди зачастую контактируют между собой в рамках различных формальных и неформальных объединений, то есть имеет место неоднородность распределения представителей различных групп. Представляется, что более адекватными станут модели, позволяющие учитывать неоднородность в пространственном распределении участников процесса профессиональной ориентации абитуриентов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клячко Т.Л., Мау В.А. Будущее университетов. Российские тенденции. *Общественные науки и современность*. 2015. № 4. С. 5–25.
2. Вербетский А.Д., Фридман А.А. Политика приема в вузы и конкуренция абитуриентов. *Экономическая политика*. 2016. Т. 11. № 5. С. 68–91.
3. Вишнякова Е.А. Повышение эффективности приемной кампании за счет внедрения информационных систем управления вузом. *Проблемы современной экономики*. 2011. № 4. С. 419–422.
4. Обухова Л.Ф. Возрастная психология. 2001. М.: Россия. 414 с.
5. Кольцова Э.М., Куркина Е.С., Васецкий А.М. Математическое моделирование распространения эпидемии коронавируса COVID-19 в Москве, *Computational nanotechnology*. 2020. №1. С. 99–105.
6. Гришунина Ю.Б., Контаров Н.А. Моделирование эпидемической ситуации с учетом внешних рисков. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2014. №5 (78). С. 61–66.
7. Астраханцева И.А., Кутузова А.С., Хомякова А.А., Ахматов Х.А. Организация и методика проведения внутреннего контроля в высших учебных заведениях. *Известия ВУЗов. Серия «Экономика, финансы и управление производством»*. 2021. № 03(49). С. 49–58.
8. Астраханцева И.А. Методология нелинейного динамического управления стоимостью компании. М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Ивановский гос. энергетический ун-т им. В. И. Ленина". Иваново: ИГЭУ. 2011. 171 с. ISBN 978-5-89482-775-9. – EDN QUSMWL.
9. Астраханцева И.А. Методология финансового анализа в рамках экономических экспертиз. 2021. Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет. 236 с. ISBN 978-5-9616-0568-6. – EDN VAKVUL.
10. Астраханцева И.А., Дубов Д.А., Кутузова А.С. Комплаенс-контроль в коммерческом банке. *Аудит и финансовый анализ*. 2015. № 2. С. 288–293. – EDN TOPGVJ.
11. Yekhlakov Yu.P., Baraksanov D.N. Mathematical model and algorithm of selecting software promotion options differentiated by functionality and business models. *Business*

REFERENCES

1. Klyachko T.L., Mau V.A. The future of universities. Russian trends. *Social sciences and modernity*. 2015. N 4, P. 5-25.
2. Verbetsky A.D., Friedman A.A. The policy of admission to universities and the competition of applicants. *Economic policy*. 2016. Vol. 11. N 5. P. 68-91.
3. Vishnyakova E.A. Improving the effectiveness of the admission campaign through the introduction of information management systems of a university. *Problems of Modern Economy*. 2011. N 4. P. 419-422.
4. Obukhova L.F. Age psychology. 2001. M.: Russia. 414 p.
5. Koltsova E.M., Kurkina E.S., Vasetsky A.M. Mathematical modeling of the COVID-19 coronavirus epidemic spread in Moscow. *Computational nanotechnology*. 2020. N 1. P. 99–105.
6. Grishunina Yu.B., Kontarov N.A. Modeling of the epidemic situation taking into account external risks. *Epidemiology and Vaccinoprophylaxis*. 2014. N5 (78). P. 61-66.
7. Astrakhantseva I.A., Kutuzova A.S., Khomyakova A.A., Akhmatov Kh.A. Realization and the methodology of internal control in higher educational institutions. *News of higher educational institutions. Series: Economics, Finance and Production Management*. 2021. N 03(49). P. 49-58.
8. Astrakhantseva I.A. Methodology of nonlinear dynamic cost management of the company. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, State Educational Institution of Higher Education. Prof. education "Ivanovo State Power University named after V. I. Lenin". Иваново: ISPU. 2011. 171 p. ISBN 978-5-89482-775-9. – EDN QUSMWL.
9. Astrakhantseva I.A. Methodology of financial analysis within the framework of economic expertise. 2021. Иваново: Иванов State University of Chemistry and Technology. 236 p. ISBN 978-5-9616-0568-6. – EDN VAKVUL.
10. Astrakhantseva I.A., Dubov D.A., Kutuzova A.S. Compliance control in a commercial bank. *Audit and financial analysis*. 2015. N 2. P. 288-293. – EDN TOPGVJ.
11. Yekhlakov Yu.P., Baraksanov D.N. Mathematical model and algorithm of selecting software promotion options differentiated by functionality and business models. *Business Informatics*. 2015. N. 4 (34). P. 54–61.
12. Semiglazov A.M., Semiglazov V.A., Ivanov K.I. Mathematical modeling of an advertising campaign. *Reports of TUSUR*. 2010. N 2 (22), Part 1. P. 324-349.

- Informatics*. 2015. N. 4 (34). P. 54–61.
12. Семиглазов А.М., Семиглазов В.А., Иванов К.И. Математическое моделирование рекламной кампании. *Доклады ТУСУР*. 2010. № 2 (22), часть 1. С. 324–349.
 13. Астраханцева И.А., Кутузова А.С., Астраханцев Р.Г. Интеллектуальные методы обработки данных при прогнозировании оборота наличных денежных средств в банкоматах коммерческих банков. *Труды Вольного экономического общества России*. 2019. Том 218. С. 481–488.
 14. Астраханцева И.А. Фрактальная финансовая модель СТОИМОСТИ компании. *Аудит и финансовый анализ*. 2011. № 3. С. 70–75. – EDN NXVNXB.
 15. Астраханцева И.А. Финансовое моделирование стоимости компании в неопределенных экономических условиях. *Фундаментальные исследования*. 2011. № 4. С. 154–160. – EDN NDGTZD.
 16. Астраханцева И.А., Астраханцев Р.Г. Экономическая сущность и правовой статус криптовалют. *Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством*. 2020. № 4(46). С. 3–13. DOI 10.6060/ivecofin.2020464.502. – EDN ITQSLJ.
 17. Астраханцева И.А., Савина А.С., Астраханцев Р.Г. Криптовалюта как феномен платежа в современной цифровой экономике. *Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством*. 2019. № 4(42). С. 3–10. – EDN ZDYNOP.
 18. Bobkov S., Galiaskarov E., Astrakhantseva I. The use of cellular automata systems for simulation of transfer processes in a non-uniform area. CEUR Workshop Proceedings, Moscow, 20.01.2021. Moscow, 2021.
 19. Теория игр: Учебник / Л. А. Петросян, Н. А. Зенкевич, Е. В. Шевкопляс. 2012. СПб.: БХВ-Петербург. 432 с.
 13. Astrakhantseva I.A., Kutuzova A.S., Astrakhantsev R.G., Artificial intelligence methods in commercial banks ATM cash turnover forecast. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*. 2019. Vol. 218. P. 481-488.
 14. Astrakhantseva I.A. Fractal financial model of the company's VALUE. *Audit and financial analysis*. 2011. N 3. P. 70-75. – EDN NXVNXB.
 15. Astrakhantseva I.A. Financial modeling of the company's value in uncertain economic conditions. *Fundamental research*. 2011. № 4. P. 154-160. – EDN NDGTZD.
 16. Astrakhantseva I.A., Astrakhantsev R.G. Economic essence and legal status of cryptocurrencies. *News of higher educational institutions. Series: Economics, Finance and Production Management*. 2020. № 4(46). P. 3-13. DOI 10.6060/ivecofin.2020464.502. – EDN ITQSLJ.
 17. Astrakhantseva I.A. Savina A.S., Astrakhantsev R.G. Cryptocurrency as a phenomenon of payment in the modern digital economy. *News of higher educational institutions. Series: Economics, Finance and Production Management*. 2019. № 4(42). P. 3-10. – EDN ZDYNOP.
 18. Bobkov S., Galiaskarov E., Astrakhantseva I. The use of cellular automata systems for simulation of transfer processes in a non-uniform area. *CEUR Workshop Proceedings, Moscow, 20.01.2021*. Moscow, 2021.
 19. *Game Theory: Textbook* / L. A. Petrosyan, N. A. Zenkevich, E. V. Shevkoplyas. 2012. St. Petersburg: BHV-Petersburg. 432 p.