

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ



DOI: 10.26794/2587-5671-2021-25-3-6-19

УДК 336.519.86(045)

JEL G17, H30, H77, C65

# Математические модели реализации концепции жестких бюджетных ограничений в бюджетной системе

И.В. Яковенко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-8559-2898>

## АННОТАЦИЯ

**Предметом** исследования являются процессы бюджетной децентрализации при управлении общественными финансами, а также математические методы и модели реализации концепции жестких бюджетных ограничений с целью создания условий саморазвития административно-территориальных единиц. **Цель** исследования – разработка адаптивных экономико-математических моделей для осуществления стратегии жестких бюджетных ограничений, реализуемых в процессе межбюджетного регулирования. **Актуальность** исследования обусловлена тем, что в настоящее время в научном сообществе предметом острой дискуссии является саморазвитие административно-территориальных образований и повышение их финансовой самостоятельности. В этой связи фокус внимания экономических исследований сосредоточен на проблематике бюджетной децентрализации как двигателе экономического развития, а также связанной с ней тематике применения математического аппарата для моделирования поддержки принятия решений в этой сфере. К создаваемым моделям предъявляются требования обучаемости, адаптивности к изменяющимся условиям воздействий внешней среды и умения оперирования не только количественными, но и качественно определенными характеристиками. Поставленная проблема математического моделирования решается посредством применения междисциплинарного синтеза теорий стохастических автоматов, функционирующих в случайных средах, и нечеткой логики. Предлагаемый синтез теоретико-методологических аппаратов составляет **новизну** проведенных исследований. **В результате** построена экономико-математическая модель нечеткого автомата для определения и количественного обоснования величин нормативов распределения налоговых поступлений между бюджетами различных уровней бюджетной системы России. Нечеткий автомат в процессе функционирования взаимодействует с имитационной моделью, воспроизводящей бюджетные потоки и количественно оценивающей принимаемые автоматной моделью решения. **Практическая** значимость результатов исследования состоит в программной реализации разработанных моделей и их включении в контур управления общественными финансами. **В перспективе** предполагается создание математической модели коллективного поведения нечетких автоматных моделей, взаимодействие которых решает проблему согласования интересов бюджетов различных уровней иерархии при распределении налоговых доходов. **Ключевые слова:** бюджетная децентрализация; жесткие бюджетные ограничения; межбюджетное регулирование; математические модели; нечеткий автомат

**Для цитирования:** Яковенко И.В. Математические модели реализации концепции жестких бюджетных ограничений в бюджетной системе. *Финансы: теория и практика*. 2021;25(3):6-19. DOI: 10.26794/2587-5671-2021-25-3-6-19

## ORIGINAL PAPER

## Mathematical Models for Implementation of the Concept of Hard Budget Restrictions in the Budgetary System

I.V. Yakovenko

South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova, Novocherkassk, Russia  
<https://orcid.org/0000-0002-8559-2898>

## ABSTRACT

**The subject** of the study is the processes of budget decentralization in the management of public finances, as well as mathematical methods and models for implementing the concept of hard budget restrictions in order to create conditions for the self-development of administrative-territorial units. **The aim** of the study is to develop adaptive economic and mathematical models for implementing the strategy of hard budget constraints implemented in the process

© Яковенко И.В., 2021

of inter-budget regulation. **The relevance** of the study is due to the fact that currently the subject of acute discussion in the scientific community is the self-development of administrative-territorial entities and increasing their financial independence. In this regard, the focus of economic research is focused on the problems of budgetary decentralization as an engine of economic development, as well as the related topics of the use of mathematical tools for modeling decision support in this area. The created models are subject to the requirements of learnability, adaptability to changing conditions of environmental influences, and the ability to operate not only with quantitative, but also with qualitatively defined characteristics. The problem of mathematical modeling is solved by applying an interdisciplinary synthesis of the theories of stochastic automata operating in random environments and fuzzy logic. **The proposed** synthesis of theoretical and methodological devices is the novelty of the research. **As a result**, an economic and mathematical model of a fuzzy automaton is constructed for determining and quantifying the values of the norms for the distribution of tax revenues between budgets of different levels of the budget system. A fuzzy automaton interacts with a simulation model that reproduces budget flows and quantifies the decisions made by the automaton model. **The practical significance** of the research results lies in the program implementation of the developed models and their inclusion in the public finance management circuit. **In the future**, it is planned to create a mathematical model of the collective behavior of fuzzy automata models, the interaction of which solves the problem of coordinating the interests of budgets of different levels of the hierarchy in the distribution of tax revenues.

**Keywords:** budget decentralization; hard budget constraints; inter-budget regulation; mathematical models; fuzzy automaton

**For citation:** Yakovenko I.V. Mathematical models for implementation of the concept of hard budget restrictions in the budgetary system. *Finance: Theory and Practice*. 2021;25(3):6-19. (In Russ.). DOI: 10.26794/2587-5671-2021-25-2-6-19

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время территориальное саморазвитие является общемировой проблемой, что подтверждается ростом интересов у широкого круга исследователей разных областей знаний. В мировом сообществе складывается консенсус о необходимости решения этой проблемы в плоскости бюджетной децентрализации с целью создания условий для появления стимулов субфедеральных и субнациональных властей к развитию экономики на подведомственных им территориях. В теории бюджетного федерализма концептуальной основой является сбалансированность централизованных и децентрализованных отношений посредством определения компромисса между применением «жестких» и «мягких» бюджетных ограничений. Нахождение этого компромисса является задачей финансовых технологий, которые эволюционируют под влиянием цифровой трансформации.

Цифровая трансформация стимулирует развитие финансовых инноваций, к числу которых относятся различные технологии финансового инжиниринга. Это финансовые инструменты (опционы, облигации, процентные свопы, фьючерсные контракты и др.), а также различные инженерные разработки, базирующиеся на результатах научно-технического прогресса.

О значении словосочетания «финансовый инжиниринг» в научной литературе существуют разные толкования. Некоторые исследователи, например В.И. Флегонтов, Р.А. Исаев [1, 2], вкладывают в него смысл комплекса мер финансового воздействия,

новых схем проведения финансовых операций, направленных на минимизацию финансовых рисков.

Автор настоящей статьи разделяет точку зрения Е.Ф. Сыроевой, Д.С. Козлова [3], Н.П. Барынькиной [4], которые трактуют «финансовый инжиниринг» как «совокупность интеллектуальных видов деятельности, базирующихся на научно-технических достижениях» (engineering — от лат. ingenium — изобретательность). По мнению автора, в составе технологий финансового инжиниринга значительное место занимают результаты применяемых в финансовой сфере инженерных разработок. Эти разработки создаются под влиянием конвергентной эволюции компьютерных технологий и математического инструментария.

Финансовый инжиниринг является важной составляющей формирования национальной экономики любой страны. Особенно его роль велика при решении стратегических проблем формирования условий эндогенного развития территориальных экономических систем. Эти проблемы решаются путем нахождения внутренних резервов эволюции, обеспечивающих регионам и муниципальным образованиям конкурентное преимущество и экономический рост.

Разработке и реализации экономической политики, ориентированной на экономический рост, посвящен широкий спектр научных работ ученых разных стран. При этом происходит расширение предметного поля исследований за счет включения в него методологического и теоретического аппарата не только экономических наук. В последнее время внимание исследователей концентрируется

на конвергенции наук и технологий с целью получения синергетического эффекта при эволюционном изменении национальной экономики.

Среди работ, посвященных решению проблем управления развитием национальной экономики, следует выделить статьи С. Ю. Глазьева, Р. М. Нижегородцева, Г. Л. Купряшина, Н. В. Макогоновой, А. В. Сидорова, О. С. Сухарева [5, 6].

Вопросам ускорения экономического роста за счет саморазвития административно-территориальных единиц посвящается в настоящее время множество работ современных зарубежных ученых. В своих работах они исследуют явление децентрализации общественных благ как важнейший фактор социально-экономического развития, основанного на теореме У. Оутса. [7–9]. Децентрализация хозяйствования как стратегия делегирует хозяйственным субъектам полномочия для самостоятельного принятия решений. Это способствует созданию условий для появления стимулов экономических агентов к поиску решений, позволяющих в процессе хозяйственной деятельности максимально приблизиться к конечному результату, поставленной цели.

В этом контексте в исследованиях Г. Эверарт и А. Хильдебрандт [10] описаны проблемы, касающиеся последствий применения «мягких» бюджетных ограничений на уровне фирм. Концепции децентрализации уделяется внимание не только в сфере повышения качества общественных услуг, но и в аспекте стимулирования субнациональных властей к экономическому развитию подведомственных им территорий. В этом плане возникает задача соотношения между применением «мягких» и «жестких» бюджетных ограничений.

К числу работ, вскрывающих проблемы применения «мягких» и «жестких» бюджетных ограничений, можно отнести статьи Д. Чулкова [11], А. О. Хопланд [12]. В последнее время все больше исследователей разных стран склоняются к необходимости применения математических методов к изучению явления децентрализации в теории бюджетного федерализма как эволюционного пути развития экономики. Подтверждением этого является работа Ю. Джин и М. Райдер [13], в которой проведено исследование влияния децентрализации на экономический рост на основе производственной функции. Изучая в этом плане применение политики бюджетной децентрализации в Китае и Индии на основе составления уравнений выравнивания и роста, авторами сделан справедливый вывод, что фискальное выравнивание не всегда оказывает положительное влияние на экономический рост. Действительно, к применению подходов

децентрализации необходимо относиться избирательно, учитывая закономерности национальных и субнациональных территорий. Доказательством жизненности вопросов, связанных с фискальной децентрализацией, служат множество работ, в которых авторы, опираясь на экономические теории децентрализации, видят в них источник появления качественно новых стимулирующих эффектов в поведении субнациональных властей при поиске дополнительных источников развития административно-территориальных образований. К числу таких работ следует отнести статьи А. Каппелер [14], М. Онофрей, Ф. Опреа [15], Дж. Коо и Б. Дж. Ким [16]. Таким образом, из содержания исследований можно сделать вывод, что бюджетная децентрализация и «жесткие» бюджетные ограничения полезны не для всех территорий. Этой же точки зрения придерживается автор Н. Е. Барбашова, которая считает, что «дотация на выравнивание уровня бюджетной обеспеченности территории является наиболее значимым элементом системы межбюджетных трансфертов» [17]. Но, по мнению Н. Е. Барбашовой, не всегда механизм бюджетного выравнивания создает у территорий иждивенческие настроения [17]. Проблемы применения стратегии бюджетной децентрализации вызваны неоднородностью развития территориальных единиц страны. Для принятия решений о целесообразности применения методов децентрализации и исследования влияния их последствий на экономический рост целесообразно применение ИТ-технологий с встроенными в их состав экономико-математическими моделями. В связи с тем, что активная цифровизация захватывает в настоящее время все сферы экономики, цифровая трансформация технологий пространственного развития административно-территориальных единиц представляет собой фокус внимания исследователей.

Вопросы цифровой трансформации финансовой отрасли как драйвера экономического развития, вызывающего изменение моделей взаимодействия участников финансовой сферы, раскрыты в статье И. Д. Котлярова [18]. Среди работ исследователей, изучающих эмерджентные проблемы стратегии цифровой трансформации европейских поставщиков финансовых услуг, достойной внимания является статья С. Ханиас, М. Майерс, Т. Хесс, S. Chaniyas, M. Myers, T. Hess [19]. Особенностью результатов исследований С. Ханиас, М. Майерс, Т. Хесс является представление цифровой трансформации в сфере финансов как развивающейся системы, а ее проектирования — как динамичного, итеративного процесса обучения и выполнения необходимых функций.

Адаптивные обучающиеся модели, формально описывающие поведение экономических агентов в процессе принятия решений, построены такими авторами, как Е. Д. Стрельцова, И. В. Яковенко, С. Зиядин, А. Бородин, С. Суйебаева, Д. Пшембаева, О. С. Белокрылова, К. А. Белокрылов, С. С. Цыганков, В. А. Сыропятов [20–25]. Эти модели, построенные на основе математического аппарата теории стохастических автоматов, функционирующих в случайных средах, а также нечеткой логики, выполняют функцию поддержки принятия решений в процессе межбюджетного регулирования как фактора, занимающего первостепенное место в обеспечении экономического роста.

Проведенный анализ современных научных источников свидетельствует о том, что поиск путей территориального развития является перспективным направлением экономических исследований эволюции любой страны. Ввиду сложившейся политической и экономической конъюнктуры проблема обеспечения условий саморазвития административно-территориальных единиц за счет внутренних ресурсов является особенно актуальной. При этом одним из критериев саморазвития регионов и муниципальных образований является уровень финансовой самостоятельности, достигаемый при достаточном количестве их собственных доходных источников. В развитии финансовой самостоятельности особая роль принадлежит межбюджетным отношениям, складывающимся между территориями по вертикали. Процессы межбюджетного регулирования могут как способствовать активизации действий властей на местах в развитии собственной налогооблагаемой базы, так и тормозить их. Территориям, обладающим достаточным налоговым потенциалом, целесообразно использовать «жесткие» бюджетные ограничения посредством предоставления права пользования частью собираемых налоговых доходов при установлении оптимальных нормативов их долевого распределения по вертикали. Применение такой стимулирующей функции межбюджетного регулирования значительно повышает заинтересованность властей в интенсификации хозяйственной деятельности.

Для территорий с низкой способностью к самоорганизации эффективным методом межбюджетного регулирования являются «мягкие» бюджетные ограничения посредством различных трансфертных вливаний. При сосредоточении фокуса внимания на реализации стимулирующей функции межбюджетного регулирования возникает проблема определения оптимальных пропорций распределения поступлений от уплаты налоговых доходов между

бюджетами вышестоящего и нижестоящего уровней бюджетной системы. Решение этой проблемы требует формального описания процессов целесообразного поведения лица, принимающего решение, при выборе альтернатив с применением методов математического моделирования и проведением впоследствии вычислительных экспериментов.

Все это актуализирует содержание проведенных автором исследований, направленных на создание цифровых технологий поддержки принятия решений по установлению нормативов долевого распределения налоговых поступлений на основе обучающихся математических моделей. Актуальность исследований, которые проведены в настоящей статье, заключается в необходимости постановки на цифровую платформу межбюджетных отношений между административно-территориальными образованиями при реализации стратегии «жестких» бюджетных ограничений. В настоящее время такой подход является ведущим для всех стран мира. А переход на цифровые технологии требует создания и внедрения математических моделей, описывающих поведение субъекта принятия решений. Данное исследование направлено на разработку математических моделей в виде нечетких автоматов, функционирующих в случайной среде. Полученные в статье аналитические выражения для вероятностей выбора автоматами своих состояний позволяют проводить вычислительные эксперименты при выборе альтернатив в процессе распределения налоговых поступлений между бюджетами территорий различных уровней.

Исследование включает следующие разделы. В первом разделе обоснована актуальность решаемой проблемы и приведен анализ публикаций, посвященных ее решению. Во втором разделе поставлена задача моделирования процессов принятия решений по распределению налоговых поступлений между бюджетами различных уровней бюджетной системы, а также приведены результаты построения экономико-математических моделей. Третий раздел посвящен полученным результатам моделирования и их обсуждению. В последнем разделе изложены основные выводы по итогам исследования.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Постановка задачи

Как указывалось ранее, в [20–22] были разработаны модели принятия решений по установлению нормативов распределения налоговых источников между бюджетами на базе применения математического аппарата теории стохастических автоматов, функционирующих в случайных сре-



дах. При этом переходы автоматов из состояния в состояние определялись или на основе избираемости тактики автоматов [20–22], или исходя из равновероятности их переходов в различные состояния. В качестве недостатков моделей, предложенных в [20–22], следует отметить отсутствие гибкости их структуры в условиях изменений экономической обстановки административно-территориальных образований.

В настоящей статье для поддержки принятия решений при реализации стимулирующей функции межбюджетного регулирования предложено использовать синтез математических аппаратов теории стохастических автоматов и нечеткой алгебры. Автором построена конструкция нечеткого автомата  $\Omega$  как математической абстракции, способной обучаться целесообразному поведению лица, принимающего решение, как естественного интеллекта. В соответствии с положениями теории стохастических автоматов [26] создаваемая математическая модель поддержки принятия решений погружена в бинарную случайную среду, которая отвечает на действия автомата  $\Omega$  реакциями, декомпозированными на два класса: «выигрыш» *Win* и «проигрыш» *Loss*. Множество состояний автомата обозначено переменными  $S(t) = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_k(t)\}$ . Геометрическим образом величин  $s_i(t) \in S$ ,  $i = 1, k$  является множество

подотрезков длиной  $\frac{1}{k}$ , на которые декомпозирован исходный отрезок  $[0, 1]$  как область определения величин  $s_i(t) \in S$ . Тогда состояния  $s_i(t) \in S$  будут принимать значения, равные  $0, \frac{1}{k}, \frac{2}{k}, \dots, \frac{k-1}{k}, 1$ .

#### Построение модели

Тактика поведения автомата принята в соответствии с [20–22, 26]: в случае реакции случайной среды на состояния  $s_i(t) \in S$ , относящейся к классу *Win* (выигрыш), автомат его не покидает, а при реакции *Loss* (проигрыш) он переходит в любое другое состояние  $s_j(t) \in S$ ,  $j \neq i$ . Если автомат  $\Omega$  в состоянии  $s_i(t) \in S$  выиграл, то на его вход поступает сигнал «выигрыш» с вероятностью  $p_i$ . Вероятность проигрыша автомата в состоянии  $s_i(t) \in S$  обозначена переменной  $q_i = 1 - p_i$ . Экономический смысл сигналов  $p_i$  и  $q_i$  описан в [32–34] и означает, соответственно, вероятности возникновения дефицита и профицита в бюджете административно-территориального образования. Отличие построенной автором модели  $\Omega$  от

ранее предложенных конструкций [20–22] состоит в том, что матрицы переходов автомата при реакциях среды класса *Win* и *Loss* строятся на основе логико-лингвистического анализа, разработанного Л. А. Заде [27]. При этом территориальные экономические системы в плане применения методов межбюджетного регулирования анализируются с точки зрения способности к самоорганизации. Необходимость такого анализа заявлена в ранее опубликованной статье [28], где отмечено, что «к административно-территориальным единицам разного уровня экономического развития и различной способности к самоорганизации следует применять дифференцированный подход к выбору стратегии бюджетного регулирования» [28]. В связи с этим проведение дальнейших исследований базируется на предложенной ранее [28] декомпозиции территорий на два класса: *Capable* и *Unable*. В класс *Capable* предлагается включить территории, обладающие повышенной способностью к саморазвитию, благодаря наличию внутренних ресурсов и конкурентных преимуществ. Во второй класс *Unable* включаются территории, которые не обладают способностью к саморазвитию [28]. Для проведения классификации изучены работы таких ученых, как А. Лучак, М. А. Юст [29], Х. Хан, С. Трими [30], А. Хатами-Марбини, Ф. Канги [31], К. Пальчевский, В. Салабун [32], Т. Ву, Х. Лю, Ф. Лю [33], М. Юцесан [34], Ф. Чен [35]. При этом авторами А. Лучак, М. А. Юст [29] заявлено об отсутствии стандартной процедуры классификации территорий на разных уровнях государственного управления. В каждом конкретном случае возникает необходимость применения специфических методов, индикаторов и алгоритмов, адекватно оценивающих особенности территорий к эволюции на разных уровнях административного устройства.

В [28] отмечено, что «системы показателей, на основе которых лица, принимающие решения, или эксперты оценивают уровень социально-экономического развития территориальной единицы, зависят от профессиональных знаний специалистов, от разрабатываемых ими сценариев возможных развитий, а также от специфики хозяйства территории». В перечень индикаторов эволюции могут быть включены такие количественно выраженные показатели, как дефицит, профицит, доходы и расходы бюджета; объем валового регионального или муниципального продукта на душу населения; оценка производственного потенциала; уровни рентабельности основных сфер экономики и др. [28]. Можно также ориентироваться на качествен-

но выраженные показатели, к которым относится множество различных институциональных, экологических и других характеристик.

Решение задачи классификации территорий по способности саморазвития требует применения математических методов многомерного анализа, что автор планирует изложить в следующих своих работах. В данной статье описаны результаты построения математической модели в рамках реализации стратегии «жесткого» бюджетного ограничения для поддержки принятия решений относительно установления долей расщепления совместных налогов между бюджетами субфедерального и субрегионального уровней.

Некоторые аспекты построения такой модели излагались в работе [28], в которой приведены аналитические выражения финальных вероятностей нечеткого автомата для определения долей распределения налоговых поступлений между бюджетами различных уровней иерархии и доказаны теоремы целесообразного поведения построенной автоматной модели. В настоящей статье продемонстрирован вывод аналитических выражений для финальных вероятностей автоматной модели. Таким образом, для территории каждого класса *Capable* и *Unable* предложено применение качественно выраженной меры целесообразности применения инструментария межбюджетного регулирования в плане установления конкретных долей отчисления от налогов. Эта мера целесообразности описывается лингвистической переменной

$$OR = \langle T(OR), U, M \rangle,$$

где  $T(OR) = \{Capable, Unable\}$  – терм-множество лингвистической переменной  $OR$ ,  $U$  – ее универсум,  $M = \{\mu_{Cap}, \mu_{Un}\}$  – функции принадлежности нечетких множеств *Capable* и *Unable*, означающих, соответственно, способность и неспособность территориальной экономической системы к самоорганизации. Универсум  $U$  представляет собой отрезок  $[0, 1]$ , из которого принимают значения нормативы долевого распределения налоговых поступлений между бюджетами территорий. Функции принадлежности  $\mu^{Cap} : \{S\} \rightarrow [0, 1]$ ,  $\mu^{Un} : \{S\} \rightarrow [0, 1]$  описываются уравнениями:

$$\mu^{Un} = \begin{cases} 0, & s_i < 0; \\ 1 - s_i, & 0 < s_i < 1; \\ 0, & s_i > 1; \end{cases} \quad (1) \quad \mu^{Cap} = \begin{cases} 0, & s_i < 0; \\ s_i - 0, & 0 < s_i < 1; \\ 0, & s_i > 1; \end{cases}$$

В соответствии с этим автомат  $\Omega$  представлен кортежем  $\Omega = \langle \Omega_{un}, \Omega_{Cap} \rangle$ , компоненты которого  $\Omega_{un}$  и  $\Omega_{Cap}$  описывают его поведение в лингвистических средах соответственно *Unable* и *Capable*. Общим свойством автоматов  $\Omega_{un}$  и  $\Omega_{Cap}$  является одинаковость их матриц переходов  $\|m_{ij}(1)\|$  из состояния в состояние при выигрыше *Win*:

$$m_{ij}(Win) = \begin{cases} 1, & \text{при } i = j; \\ 0, & \text{при } i \neq j. \end{cases} \quad (2)$$

Элементами матриц переходов  $m_{ij}^{Un}(Loss)$  и  $m_{ij}^{Cap}(Loss)$  автоматов  $\Omega_{un}$  и  $\Omega_{Cap}$  при проигрыше (*Loss*) являются значения функций принадлежности  $\mu_{ij}^{Un}$  и  $\mu_{ij}^{Cap}$ :

$$m_{ij}^{Cap}(Loss) = \begin{pmatrix} 0 & \frac{2}{k} & \frac{3}{k} & \dots & \frac{k}{k} \\ \frac{1}{k} & 0 & \frac{3}{k} & \dots & \frac{k}{k} \\ \frac{1}{k} & \frac{2}{k} & 0 & \dots & \frac{k}{k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{k} & \frac{2}{k} & \frac{3}{k} & \dots & 0 \end{pmatrix};$$

$$m_{ij}^{Un}(Loss) = \begin{pmatrix} 0 & \frac{k-2}{k} & \frac{k-3}{k} & \dots & \frac{k-k}{k} \\ \frac{k-1}{k} & 0 & \frac{k-3}{k} & \dots & \frac{k-k}{k} \\ \frac{k-1}{k} & \frac{k-2}{k} & 0 & \dots & \frac{k-k}{k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{k-1}{k} & \frac{k-2}{k} & \frac{k-3}{k} & \dots & 0 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Элементы матрицы переходов  $\|P_{ij}^{Un}\|$  и  $\|P_{ij}^{Cap}\|$  автоматов независимо от входного сигнала *Win* или *Loss* определяются исходя из выражений

$$P_{ij}^{Un} = m_{ij}^{Un}(Win)p_i + m_{ij}^{Un}(Loss)q_i;$$

$$P_{ij}^{Cap} = m_{ij}^{Cap}(Win)p_i + m_{ij}^{Cap}(Loss)q_i.$$

Матрицы  $\|P_{ij}^{Un}\|$  и  $\|P_{ij}^{Cap}\|$  имеют следующий вид:

$$P_{ij}^{Un} = \begin{pmatrix} p_1 & \frac{k-2}{k}q_2 & \frac{k-3}{k}q_3 & \dots & \frac{k-k}{k}q_k \\ \frac{k-1}{k}q_1 & p_2 & \frac{k-3}{k}q_3 & \dots & \frac{k-k}{k}q_k \\ \frac{k-1}{k}q_1 & \frac{k-2}{k}q_2 & p_3 & \dots & \frac{k-k}{k}q_k \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \frac{k-k}{k}q_k \\ \frac{k-1}{k}q_1 & \frac{k-2}{k}q_2 & \frac{k-3}{k}q_3 & \dots & p_k \end{pmatrix}; \quad P_{ij}^{Cap} = \begin{pmatrix} p_1 & \frac{2}{k}q_1 & \frac{3}{k}q_2 & \dots & \frac{k}{k}q_k \\ \frac{1}{k}q_1 & p_2 & \frac{3}{k}q_3 & \dots & \frac{k}{k}q_k \\ \frac{1}{k}q_1 & \frac{2}{k}q_2 & p_3 & \dots & \frac{k}{k}q_k \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \frac{k-k}{k}q_k \\ \frac{1}{k}q_1 & \frac{2}{k}q_2 & \frac{3}{k}q_3 & \dots & p_k \end{pmatrix}. \quad (4)$$

В теории случайных процессов обосновано, что в случае конечного числа состояний системы и при условии реализуемости перехода из каждого состояния в любое другое за конечное число шагов существуют финальные вероятности. В статье приведены уравнения для вычисления финальных вероятностей  $Z_i^{Cap}$ ,  $Z_i^{Un}$ ,  $i = 1, k$  пребывания автоматов в каждом из со-

стояний при условии погружения в лингвистические среды *Capable* и *Unable*. Система уравнений для вычисления финальных вероятностей  $Z_i^{Un}$  пребывания стохастического автомата в своих состояниях, если территориальная экономическая система функционирует в лингвистической среде *Unable*, означающей ее неспособность к самоорганизации, имеет вид:

$$\begin{cases} Z_1^{Un} = Z_1^{Un} p_1 + Z_2^{Un} \frac{k-2}{k} q_2 + Z_3^{Un} \frac{k-3}{k} q_3 + \dots + Z_{k-1}^{Un} \frac{k-(k-1)}{k} q_{k-1} + Z_k^{Un} \frac{k-k}{k} q_k \\ Z_2^{Un} = Z_1^{Un} \frac{k-1}{k} q_1 + Z_2^{Un} p_2 + Z_3^{Un} \frac{k-3}{k} q_3 + \dots + Z_{k-1}^{Un} \frac{k-(k-1)}{k} q_{k-1} + Z_k^{Un} \frac{k-k}{k} q_k \\ Z_3^{Un} = Z_1^{Un} \frac{k-1}{k} q_1 + Z_2^{Un} \frac{k-2}{k} q_2 + Z_3^{Un} p_3 + \dots + Z_{k-1}^{Un} \frac{k-(k-1)}{k} q_{k-1} + Z_k^{Un} \frac{k-k}{k} q_k \\ \dots \\ Z_k^{Un} = Z_1^{Un} \frac{k-1}{k} q_1 + Z_2^{Un} \frac{k-2}{k} q_2 + Z_3^{Un} \frac{k-3}{k} q_3 + \dots + Z_{k-1}^{Un} \frac{k-(k-1)}{k} q_{k-1} + Z_k^{Un} p_k \end{cases}. \quad (5)$$

После некоторых преобразований системы получим:

$$\begin{cases} Z_1^{Un} (1 - p_1) + Z_1^{Un} \frac{k-1}{k} q_1 = \sum_{i=1}^k Z_i^{Un} \frac{k-i}{k} q_i \\ Z_2^{Un} (1 - p_2) + Z_2^{Un} \frac{k-2}{k} q_2 = \sum_{i=1}^k Z_i^{Un} \frac{k-i}{k} q_i \\ Z_3^{Un} (1 - p_3) + Z_3^{Un} \frac{k-3}{k} q_3 = \sum_{i=1}^k Z_i^{Un} \frac{k-i}{k} q_i \\ \dots \\ Z_k^{Un} (1 - p_k) + Z_k^{Un} \frac{k-k}{k} q_k = \sum_{i=1}^k Z_i^{Un} \frac{k-i}{k} q_i \end{cases}. \quad (6)$$

Следовательно, имеем:

$$Z_1^{Un} q_1 + Z_1^{Un} \frac{k-1}{k} q_1 = Z_2^{Un} q_2 + Z_2^{Un} \frac{k-2}{k} q_2 = \dots = Z_k^{Un} q_k + Z_k^{Un} \frac{k-k}{k} q_k. \quad (7)$$

$$Z_2^{Un} = Z_1^{Un} \frac{q_1}{q_2} \frac{2k-1}{2k-2}; Z_3^{Un} = Z_1^{Un} \frac{q_1}{q_3} \frac{2k-1}{2k-3}; \dots; Z_k^{Un} = Z_1^{Un} \frac{q_1}{q_k} \frac{2k-1}{2k-k}. \quad (8)$$

Используем условие нормировки  $\sum_{i=1}^k Z_i^{Un} = 1$ :

$$Z_1^{Un} + Z_1^{Un} \frac{q_1}{q_2} \frac{2k-1}{2k-2} + Z_1^{Un} \frac{q_1}{q_3} \frac{2k-1}{2k-3} + \dots + Z_1^{Un} \frac{q_1}{q_k} \frac{2k-1}{2k-k} = 1. \quad (9)$$

Исходя из этого условия, определяется  $Z_1^{Un}$ :

$$Z_1^{Un} = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{q_1}{q_i} \frac{2k-1}{2k-i}} = \frac{1}{q_1(2k-1) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(2k-i)}}. \quad (10)$$

Тогда величины  $Z_i^{Un}$ ,  $i = \overline{1, k}$  определяются исходя из аналитических выражений:

$$Z_2^{Un} = \frac{1}{q_1(2k-1) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(2k-i)}} \frac{q_1}{q_2} \frac{2k-1}{2k-2} = \frac{1}{q_2(2k-2) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(2k-i)}}; \quad (11)$$

$$Z_3^{Un} = \frac{1}{q_1(2k-1) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(2k-i)}} \frac{q_1}{q_3} \frac{2k-1}{2k-3} = \frac{1}{q_3(2k-3) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(2k-i)}}; \quad (12)$$

$$Z_k^{Un} = \frac{1}{q_1(2k-1) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(2k-i)}} \frac{q_1}{q_k} \frac{2k-1}{2k-k} = \frac{1}{q_k(2k-k) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(2k-i)}}. \quad (13)$$

Система уравнений для вычисления финальных вероятностей  $Z_i^{Cap}$  пребывания стохастического автомата в своих состояниях, если территориальная экономическая система функционирует в лингвистической среде *Capable*, означающей способность к самоорганизации, имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_1^{Cap} = Z_1^{Cap} p_1 + Z_2^{Cap} \frac{2}{k} q_2 + Z_3^{Cap} \frac{3}{k} q_2 + \dots + Z_{k-1}^{Cap} \frac{(1-k)}{k} q_{k-1} + Z_k^{Cap} \frac{k}{k} q_k \\ Z_2^{Cap} = Z_1^{Cap} \frac{1}{k} q_1 + Z_2^{Cap} p_2 + Z_3^{Cap} \frac{3}{k} q_2 + \dots + Z_{k-1}^{Cap} \frac{(1-k)}{k} q_{k-1} + Z_k^{Cap} \frac{k}{k} q_k \\ Z_3^{Cap} = Z_1^{Cap} \frac{1}{k} q_1 + Z_2^{Cap} \frac{2}{k} q_2 + Z_3^{Cap} p_3 + \dots + Z_{k-1}^{Cap} \frac{(1-k)}{k} q_{k-1} + Z_k^{Cap} \frac{k}{k} q_k \\ \dots \\ Z_k^{Cap} = Z_1^{Cap} \frac{1}{k} q_1 + Z_2^{Cap} \frac{2}{k} q_2 + Z_3^{Cap} \frac{3}{k} q_3 + \dots + Z_{k-1}^{Cap} \frac{(1-k)}{k} q_{k-1} + Z_k^{Cap} p_k \end{array} \right. \quad (14)$$



После преобразований, аналогичных для системы, определяющей  $Z_i^{Un}$ , имеем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_1^{Cap} (1 - p_1) + Z_1^{Cap} \frac{1}{k} q_1 = \sum_{i=1}^k Z_i^{Cap} \frac{i}{k} q_i \\ Z_2^{Cap} (1 - p_2) + Z_2^{Cap} \frac{2}{k} q_2 = \sum_{i=1}^k Z_i^{Cap} \frac{i}{k} q_i \\ Z_3^{Cap} (1 - p_3) + Z_3^{Cap} \frac{3}{k} q_3 = \sum_{i=1}^k Z_i^{Cap} \frac{i}{k} q_i \\ \dots \\ Z_k^{Cap} (1 - p_k) + Z_k^{Cap} \frac{k}{k} q_k = \sum_{i=1}^k Z_i^{Cap} \frac{i}{k} q_i \end{array} \right. \quad (15)$$

Следовательно:

$$Z_1^{Cap} q_1 \frac{k+1}{k} = Z_2^{Cap} q_2 \frac{k+2}{k} = \dots = Z_k^{Cap} q_k \frac{k+k}{k}, \text{ откуда} \\ Z_2^{Cap} = Z_1^{Cap} \frac{q_1}{q_2} \frac{k+1}{k+2}; Z_3^{Cap} = Z_1^{Cap} \frac{q_1}{q_3} \frac{k+1}{k+3}; \dots; Z_k^{Cap} = Z_1^{Cap} \frac{q_1}{q_k} \frac{k+1}{k+k}. \quad (16)$$

Используя условие нормировки  $\sum_{i=1}^k Z_i^{Cap} = 1$ , запишем:

$$Z_1^{Cap} q_1 + Z_1^{Cap} \frac{q_1}{q_2} \frac{k+1}{k+2} + Z_1^{Cap} \frac{q_1}{q_3} \frac{k+1}{k+3} + \dots + Z_1^{Cap} \frac{q_1}{q_k} \frac{k+1}{k+k} = 1. \quad (17)$$

Из этого уравнения получим:

$$Z_1^{Cap} = \frac{1}{q_1(k+1) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(k+i)}}; \quad (18)$$

$$Z_2^{Cap} = \frac{1}{q_1(k+1) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(k+i)}} \frac{q_1}{q_2} \frac{k+1}{k+2} = \frac{1}{q_2(k+2) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(k+i)}}; \quad (19)$$

$$Z_3^{Cap} = \frac{1}{q_1(k+1) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(k+i)}} \frac{q_1}{q_3} \frac{k+1}{k+3} = \frac{1}{q_3(k+3) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(k+i)}}; \quad (20)$$

$$Z_k^{Cap} = \frac{1}{q_1(k+1) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(k+i)}} \frac{q_1}{q_k} \frac{k+1}{k+k} = \frac{1}{q_k(k+k) \sum_{i=1}^k \frac{1}{q_i(k+i)}}. \quad (21)$$

Принятие решений о выборе величин нормативов  $s_i(t) \in S$ ,  $i = \overline{1, k}$  долевого распределения средств отплаты налогов между бюджетами различных уровней осуществляется на основе использования метода статистических испытаний по финальным вероятностям  $Z_i^{Cap}$ ,  $Z_i^{Un}$ ,  $i = \overline{1, k}$ .

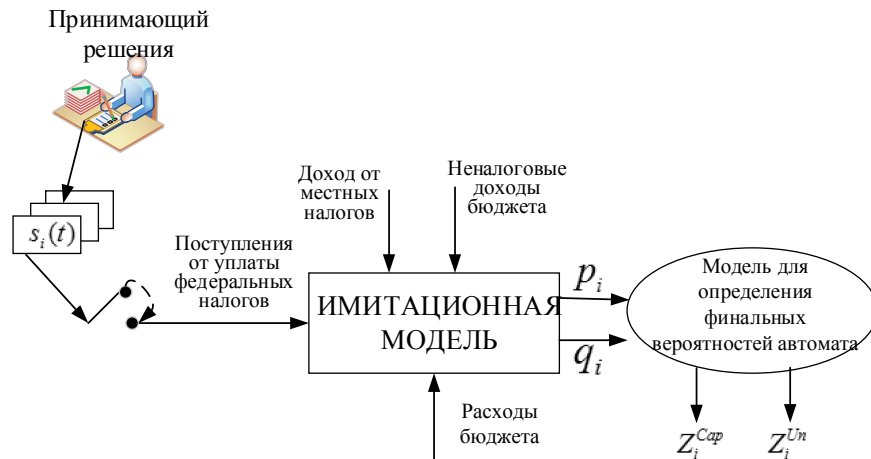


Рис. 1 / Fig. 1. Концептуальная схема взаимодействия имитационной модели со стохастическим автоматом / Conceptual scheme of interaction of a simulation model with a stochastic automaton

Источник / Source: составлено автором по результатам исследования / compiled by the author based on the research results.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В составе выведенных авторами аналитических выражений для финальных вероятностей  $Z_i^{Cap}$ ,  $Z_i^{Un}$ ,  $i = \overline{1, k}$  присутствуют вероятности выигрышей  $p_i$  и проигрышей  $q_i$  автоматов, для определения которых автором статьи ранее предлагалась имитационная модель [20–22].

Концептуальная схема взаимодействия имитационной модели со стохастическим автоматом для определения долей расщепления федеральных налогов приведена на рис. 1.

В [28] иллюстрировались результаты имитационных экспериментов, проводимых для определения величин вероятности выигрышей  $p_i$  и проигрышей  $q_i$  автоматов при различных значениях отчислений  $s_i(t) \in S$  от налога на доходы физических лиц. В этой статье проведены эксперименты для определения величин отчислений  $s_i(t) \in S$  от налога «Акцизы на горюче-смазочные материалы». Эксперименты проводились на реальной информации, собранной для некоторых субрегионов под названием N 1 и N 2. При этом субрегион N 1 отнесен к классу *Capable*, а субрегион N 2 — к классу *Unable*. Результаты экспериментов приведены в табл. На рис. 2 приведены результаты компьютерной обработки экспериментальных данных при расчете финальных вероятностей  $Z_i^{Cap}$  и  $Z_i^{Un}$ . Согласно рис. 1 на вход имитационной модели поступают статистические данные, характеризующие доходы местного бюджета от уплаты местных налогов, федеральных налогов, а также данные о неналоговых доходах и расходах местного бюджета.

Вероятности выигрышей  $p_i$  и проигрышей  $q_i$  автоматов, являющиеся выходными данными

имитационной модели, определялись на основе проведения компьютерных экспериментов. Лицо, принимающее решение (ЛПР), должно варьировать значениями нормативов отчислений от федеральных налогов  $s_i(t) \in S$ . Полученные на выходе имитационной модели величины  $p_i$  и  $q_i$  используются для определения финальных вероятностей  $Z_i^{Cap}$  и  $Z_i^{Un}$ . Результаты экспериментальных исследований при определении финальных вероятностей  $Z_i^{Cap}$  и  $Z_i^{Un}$ ,  $i = \overline{1, k}$  приведены в таблице.

Данные таблицы оценивают меры целесообразности  $Z_i^{Cap}$  и  $Z_i^{Un}$  установления величин нормативов  $s_i(t)$  отчислений от налогов для территорий, обладающих высоким *Capable* и низким *Unable* уровнями самоорганизации. При этом математическая модель дает следующие рекомендации. Для территорий класса *Capable* (т.е. обладающих способностью самоорганизации) является целесообразным установление значений нормативов отчислений от налогов, близких к единице: для нормативов  $s_{10}(t) = 1$ ,  $s_9(t) = 0,9$  и  $s_8(t) = 0,8$  финальные вероятности, соответственно, равны  $Z_{10}^{Cap} = 0,23$ ,  $Z_9^{Cap} = 0,18$  и  $Z_8^{Cap} = 0,18$ . К территориям класса *Unable* (т.е. с низким уровнем самоорганизации) модель в большей степени рекомендует применение таких инструментов межбюджетного регулирования, как трансфертные вливания, чем отчисления от налогов. Поэтому меры целесообразности установления нормативов величин отчислений от налогов, близких к единице, являются незначительными: установление нормативов величиной  $s_{10}(t) = 1$ ,  $s_9(t) = 0,9$  и  $s_8(t) = 0,8$ , соответственно, является неэффективным решением и оценивается величинами финальных вероятностей  $Z_{10}^{Un} = 0,13$ ,  $Z_9^{Un} = 0,12$ ,  $Z_8^{Un} = 0,11$ .

Оценки вероятностей профицита и дефицита бюджетов субрегионов при различных значениях отчислений  $s_i(t) \in S$  от налога «Акцизы на горюче-смазочные материалы» / Estimates of the probabilities of surplus and deficit of budgets of sub-regions at different values of deductions  $s_i(t) \in S$  from the excise tax on fuels and lubricants

Состояния автомата $s_i(t) \in S$ / State of automation $s_i(t) \in S$	Субрегион Capable (способный к самоорганизации) / Sub-region (capable of self-organization)			Субрегион Unable (не способный к самоорганизации) / Sub-region (unable of self-organization)		
	Оценка вероятности профицита $p_i$ / Surplus Probability Estimate $p_i$	Оценка вероятности дефицита $q_i$ / Deficit Probability Estimate $q_i$	Финальные вероятности $Z_i^{Cap}$ / Final Probability $Z_i^{Cap}$	Оценка вероятности профицита $p_i$ / Surplus Probability Estimate $p_i$	Оценка вероятности дефицита $q_i$ / Deficit Probability Estimate $q_i$	Финальные вероятности $Z_i^{Un}$ / Final Probability $Z_i^{Un}$
$s_1(t) = 0,1$	0,11	0,89	0,029978521	0,13	0,87	0,073024604
$s_2(t) = 0,2$	0,23	0,77	0,031762956	0,13	0,87	0,077081526
$s_3(t) = 0,3$	0,336	0,664	0,034000199	0,131	0,869	0,081709653
$s_4(t) = 0,4$	0,431	0,569	0,036842797	0,132	0,868	0,086916525
$s_5(t) = 0,5$	0,527	0,473	0,041365711	0,132	0,868	0,092710960
$s_6(t) = 0,6$	0,757	0,243	0,075486039	0,132	0,868	0,099333172
$s_7(t) = 0,7$	0,877	0,123	0,140358546	0,133	0,867	0,107097569
$s_8(t) = 0,8$	0,913	0,087	0,187413614	0,133	0,867	0,116022367
$s_9(t) = 0,9$	0,917	0,083	0,186106354	0,134	0,866	0,126716009
$s_{10}(t) = 1$	0,938	0,062	0,236685258	0,134	0,866	0,139387610

Источник / Source: составлено автором по результатам исследования / compiled by the author based on the research results.

### ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы. Методы межбюджетного регулирования являются высокоэффективным регистром управления эволюцией административно-территориальных единиц. Проблема реализации его стимулирующей функции в настоящее время является особенно актуальной. В связи с этим чрезвычайно важное значение приобретают исследования по созданию экономико-математических моделей, описывающих целесообразное поведение ЛПР при выборе альтернатив.

Ранее были предложены математические модели для поддержки принятия решений в стратегии «жестких» бюджетных ограничений, обладающие свойством обучаемости и адаптивности к стохастически изменяющимся воздействиям внешней среды [20–22]. Но наблюдающаяся в последнее

время подвижность внешней среды приводит к быстрому и частому изменению факторов, к использованию приближенных исходных данных, на базе которых принимаются управленческие решения. В финансовых системах к числу этих факторов относится нестабильный характер бюджетных потоков. Эта нестабильность обуславливается, например, переходом экономики территории на качественно новый уровень развития в связи с возникновением новых организаций, предприятий и производств, внедрением новых технологий и др. Все это создает условия неопределенности и требует быстрой и адекватной реакции финансовых систем административно-территориальных образований для поддержания и усиления их конкурентоспособности, что обостряет интерес к применению методов интеллектуализации при моделировании.

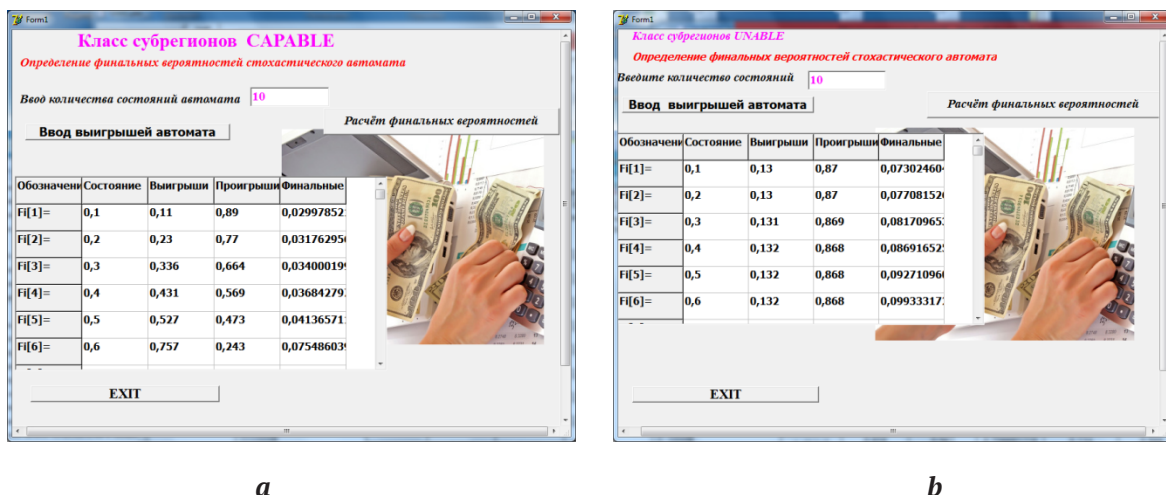


Рис. 2 / Fig. 2. Результаты компьютерной обработки экспериментальных данных при расчете финальных вероятностей  $Z_i^{Cap}$  и  $Z_i^{Un}$ : а – для субрегионов класса *Capable*; б – для субрегионов класса *Unable* / The results of computer processing of experimental data when calculating the final probabilities  $Z_i^{Cap}$  and  $Z_i^{Un}$ : а – for sub-regions of the class *Capable*; б – for sub-regions of the class *Unable*

Источник / Source: составлено автором по результатам исследования / compiled by the author based on the research results.

Предложенный подход конвергенции математического аппарата нечеткой алгебры и теории стохастических автоматов позволяет при формализации процессов принятия решений в рамках стратегии «жестких» бюджетных ограничений использовать качественно выраженные характеристики, что формирует новую основу для исследования моделей принятия решений в нечеткой среде.

Построенные экономико-математические модели нечетких автоматов обладают практической значимостью, обусловленной их воплощением в программных продуктах и возможностью встраивания в контур управления общественными финансами на субфедеральном и субрегиональном уровнях. При этом предполагается взаимодействие моделей нечетких автоматов с системами баз данных, функционирующих в отделах управления общественными финансами.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Флегонтов В.И. Финансовый инжиниринг как инструмент финансовой экономики. *Актуальные проблемы социально-экономического развития России*. 2019;(2):85–88.  
Flegontov V.I. Financial engineering as an instrument of financial economy. *Aktual'nye problemy sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossii*. 2019;(2):85–88. (In Russ.).
2. Исаев Р.А. Банковский менеджмент и бизнес-инжиниринг. М.: ИНФРА-М; 2011. 400 с.  
Isaev R.A. Banking management and business engineering. Moscow: INFRA-M; 2011. 400 p. (In Russ.).
3. Сысоева Е.Ф., Козлов Д.С. Финансовый инжиниринг как процесс создания финансовых инноваций. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2010;6(7):51–55.  
Sysoeva E.F., Kozlova D.S. Financial engineering as a process of creating financial innovations. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*. 2010;6(7):51–55. (In Russ.).
4. Барынькина Н.П. Эволюция понятия финансового инжиниринга в финансовой науке. *Вопросы экономики и права*. 2011;(36):101–107.  
Baryn'kina N.P. Evolution of the concept of financial engineering in financial science. *Voprosy ekonomiki i prava = Economic and Law Issues*. 2011;(36):101–107. (In Russ.).
5. Глазьев С.Ю., Нижегородцев Р.М., Купряшин Г.Л., Макогонова Н.В., Сидоров А.В., Сухарев О.С. Управление развитием национальной экономики на федеральном уровне (материалы круглого стола 26.10.2016). *Государственное управление. Электронный вестник*. 2017;(60):6–33.  
Glaziev S. Yu., Nizhegorodtsev R.M., Kupryashin G.L., Makogonova N.V., Sidorov A.V., Sukharev O.S. State-level national economic development management (A summary of the Round Table conducted on 26.10.2016). *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyi vestnik = Public Administration. E-Journal*. 2017;(60):6–33. (In Russ.).

6. Глазьев С. Мировой экономический кризис как процесс смены технологических укладов. *Вопросы экономики*. 2009;(3):26–38. DOI: 10.32609/0042–8736–2009–3–26–38  
Glaziev S. The world economic crisis as a process of changing technological structures. *Voprosy ekonomiki*. 2009;(3):26–38. (In Russ.). DOI: 10.32609/0042–8736–2009–3–26–38
7. Oates W.E., Schwab R.M. Economic competition among jurisdictions: Efficiency enhancing or distortion inducing? *Journal of Public Economics*. 1988;35(3):333–354. DOI: 10.1016/0047–2727(88)90036–9
8. Oates W.E. An essay on fiscal federalism. *Journal of Economic Literature*. 1999;37(3):1120–1149. DOI: 10.1257/jel.37.3.1120
9. Oates W.E. Toward a second-generation theory of fiscal federalism. *International Tax and Public Finance*. 2005;12(4):349–373. DOI: 10.1007/s10797–005–1619–9
10. Everaert G., Hildebrandt A. On the causes of soft budget constraints: Firm-level evidence from Bulgaria and Romania. In: *Advances in the economic analysis of participatory & labor-managed firms*. Bingley: Emerald Publishing Ltd.; 2003;7:105–137. DOI: 10.1016/S 0885–3339(03)07007–8
11. Chulkov D. Innovation in centralized organizations: Examining evidence from Soviet Russia. *Journal of Economic Studies*. 2014;41(1):123–139. DOI: 10.1108/JES-05–2011–0057
12. Hopland A. O. Can game theory explain poor maintenance of regional government facilities? *Facilities*. 2015;33(3/4):195–205. DOI: 10.1108/F-08–2013–0062
13. Jin Y., Rider M. Does fiscal decentralization promote economic growth? An empirical approach to the study of China and India. *Journal of Public Budgeting, Accounting & Financial Management*. 2020. DOI: 10.1108/JPBAFM-11–2019–0174
14. Kappeler A. Fiscal externalities in a three-tier structure of government. *Journal of Economic Studies*. 2014;41(6):863–880. DOI: 10.1108/JES-03–2013–0033
15. Onofrei M., Oprea F. Fiscal decentralisation and self-government practices: Southern versus Eastern periphery of the European Union. In: Pascariu G. C., Duarte M. A.P.D.S., eds. *Core-periphery patterns across the European Union: Case studies and lessons from Eastern and Southern Europe*. Bingley: Emerald Publishing Ltd.; 2017:251–289.
16. Коо J., Kim B. J. Two faces of decentralization in South Korea. *Asian Education and Development Studies*. 2018;7(3):291–302. DOI: 10.1108/AEDS-11–2017–0115
17. Барбашова Н. Е. Создает ли методика межбюджетного выравнивания отрицательные стимулы для инфраструктурного развития регионов? *Финансы: теория и практика*. 2021;25(1):22–34. DOI: 10.26794/2587–5671–2021–25–1–22–34  
Barbashova N. E. Does intergovernmental equalization create disincentives for regional infrastructural development? *Finansy: teoriya i praktika = Finance: Theory and Practice*. 2021;25(1):22–34. (In Russ.). DOI: 10.26794/2587–5671–2021–25–1–22–34
18. Котляров И. Д. Цифровая трансформация финансового сектора: содержание и тенденции. *Управленец*. 2020;11(3):72–81. DOI: 10.29141/2218–5003–2020–11–3–6  
Kotliarov I. D. Digital transformation of the financial industry: Substance and trends. *Upravlenets = The Manager*. 2020;11(3):72–81. (In Russ.). DOI: 10.29141/2218–5003–2020–11–3–6
19. Chanas S., Myers M.D., Hess T. Digital transformation strategy making in pre-digital organizations: The case of a financial service provider. *Journal of Strategic Information Systems*. 2019;28(1):17–33. DOI: 10.1016/j.jsis.2018.11.003
20. Streltsova E. D., Dulin A. N., Yakovenko I. V. Perfection of interbudgetary relations as a factor of economic growth of depressed miner territories. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;272(3). DOI: 10.1088/1755–1315/272/3/032164
21. Streltsova E. D.; Yakovenko I. V. Support of decision-making in interbudgetary regulation on the basis of simulation modeling. In: Solovev D. B., ed. *Smart technologies and innovations in design for control of technological processes and objects: Economy and production*. Proceedings of the international science and technology conference “FarEastCon-2018”. Vol. 2. Cham: Springer Nature Switzerland AG; 2019:165–172. DOI:10.1007/978–3–030–18553–4\_21
22. Streltsova E. D., Bogomyagkova I. V., Streltsov, V. S. Modeling tools of interbudgetary regulation for mining areas. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2016;(4):123–129.
23. Ziyadin S., Borodin A., Streltsova E., Suieubayeva S., Pshembayeva D. Fuzzy logic approach in the modeling of sustainable tourism development management. *Polish Journal of Management Studies*. 2019;9(1):492–504. DOI: 10.17512/pjms.2019.19.1.37



24. Belokrylova O.S., Belokrylov K.A., Tsygankov S.S., Syropyatov V.A., Streltsova E.D. Public procurement quality assessment of a region: regression analysis. *International Journal of Sociology and Social Policy*. 2021;41(1/2):130–138. DOI: 10.1108/IJSSP-03–2020–0095
25. Belokrylova O.S., Belokrylov K.A., Streltsova E.D., Tsygankov S.S., Tsygankova E.M. Quality evaluation of public procurement: Fuzzy logic methodology. In: Popkova E., ed. Growth poles of the global economy: Emergence, changes and future perspectives. Cham: Springer-Verlag; 2020:823–833. (Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 73). DOI: 10.1007/978–3–030–15160–7\_83
26. Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. М.: Наука; 1969. 316 с.  
Tsetlin M.L. Research on the theory of automata and modeling of biological systems, Moscow: Nauka; 1969. 316 p. (In Russ.).
27. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Пер. с англ. М.: Мир; 1976. 168 с. (Серия: Математика. Новое в зарубежной науке. Вып. 3).  
Zadeh L.A. The Concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning — I. *Information Sciences*. 1975;8(1):199–249. DOI: 10.1016/0020–0255(75)90036–5. Zadeh L.A. The Concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning — II. *Information Sciences*. 1975;8(4):301–357. DOI: 10.1016/0020–0255(75)90046–8 (Russ. ed.: Zadeh L.A. Ponyatie lingvisticheskoi peremennoi i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh reshenii. Moscow: Mir; 1976. 168 p.).
28. Yakovenko I. Fuzzy stochastic automation model for decision support in the process inter-budgetary regulation. *Mathematics*. 2021;9(1):67. DOI: 10.3390/math9010067
29. Łuczak A., Just M. A complex MCDM procedure for the assessment of economic development of units at different government levels. *Mathematics*. 2020;8(7):1067. DOI:10.3390/math8071067
30. Н., Trimi S. A fuzzy TOPSIS method for performance evaluation of reverse logistics in social commerce platforms. *Expert Systems with Applications*. 2018;103:133–145. DOI: 10.1016/j.eswa.2018.03.003
31. Hatami-Marbini A., Kangi F. An extension of fuzzy TOPSIS for a group decision making with an application to Tehran stock exchange. *Applied Soft Computing*. 2017;52:1084–1097. DOI: 10.1016/j.asoc.2016.09.021
32. Palczewski K., Sałabun W. The fuzzy TOPSIS applications in the last decade. *Procedia Computer Science*. 2019;159:2294–2303. DOI: 10.1016/j.procs.2019.09.404
33. Wu T., Liu X., Liu F. An interval type-2 fuzzy TOPSIS model for large scale group decision making problems with social network information. *Information Sciences*. 2018;432:392–410. DOI: 10.1016/j.ins.2017.12.006
34. Yucesan M. et al. An integrated best-worst and interval type-2 fuzzy TOPSIS methodology for green supplier selection. *Mathematics*. 2019;7(2):182. DOI: 10.3390/math7020182
35. Shen F. et al. An extended intuitionistic fuzzy TOPSIS method based on a new distance measure with an application to credit risk evaluation. *Information Sciences*. 2018;428:105–119. DOI: 10.1016/j.ins.2017.10.045

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / ABOUT THE AUTHOR



**Ирина Владимировна Яковенко** — кандидат экономических наук, доцент кафедры математики, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

**Irina V. Yakovenko** — Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department of Mathematics, South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova, Novocherkassk, Russia  
iranyak@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.02.2021; после рецензирования 28.02.2021; принята к публикации 27.03.2021.  
Автор прочитала и одобрила окончательный вариант рукописи.

The article was submitted on 15.02.2021; revised on 28.02.2021 and accepted for publication on 27.03.2021.  
The author read and approved the final version of the manuscript.