

УДК -0049: 336.12

**АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ В СИСТЕМЕ  
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ  
МЕЖБЮДЖЕТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ**

*Е. Д. Стрельцова, д. э. н., профессор, И. В. Богомякова, к. э. н., доцент, В. С. Стрельцов, к. т. н., доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет им. М. И. Платова, el\_strel@mail.ru*

Предложена структура стохастического автомата, формализующая поведение интеллектуального агента в процессе принятия решений по установлению пропорций распределения средств от уплаты налогов между уровнями бюджетной системы. Обоснована целесообразность поведения и асимптотическая оптимальность автомата предложенной конструкции. Получены выражения для финальных вероятностей пребывания автомата в каждом из своих состояний.

**Ключевые слова:** межбюджетное регулирование, агентно-ориентированный подход, экономико-математические модели, стохастические автоматы.

**Постановка проблемы.** В любой стране принятие решений по управлению бюджетной системой устремлено к обеспечению экономического роста, стабильности развития общества и социальной справедливости посредством распределения и перераспределения бюджетных средств, поступающих от доходных источников. Административно-территориальное устройство, являющееся атрибутом любого государства, обуславливает необходимость выстраивания межбюджетных отношений между органами власти различных уровней, модели которых в большинстве случаев сводятся к моделям бюджетного федерализма. Один из принципов бюджетного федерализма – наделение каждого уровня власти доходными источниками, достаточными для реализации своих полномочий. Основная функция межбюджетного регулирования в структуре «регион» ↔ «муниципальное образование» заключается в эффективном выравнивании уровня бюджетной обеспеченности муниципальных образований при сохранении стимулирова-

ния заинтересованности органов местного самоуправления в развитии собственной налоговой базы. При этом система межбюджетных отношений оперирует следующими основными инструментами межбюджетного регулирования, позволяющими органам власти субъекта РФ обеспечить местные бюджеты собственными доходами: установление нормативов отчислений в местные бюджеты от налогов, подлежащих зачислению в бюджет субъекта РФ; дотации местным бюджетам на выравнивание их уровня бюджетной обеспеченности через фонды финансовой поддержки и другая финансовая помощь; перечисления из местных бюджетов в бюджет субъекта РФ («отрицательные трансферты» из бюджетов наиболее обеспеченных бюджетными доходами муниципальных образований). В настоящее время на передний план выдвигается стоящая перед органами государственной власти субъектов РФ стратегическая задача выбора пропорций, в которых будут распределяться основные средства межбюджетного регулирова-

ния в соответствии с этими инструментами в форме отчислений от налогов, дотаций, субсидий и субвенций [1; 2]. Эффективное решение этой задачи возможно посредством создания и использования систем поддержки принятия решений (СППР), функционирующих на основе применения экономико-математических моделей, адекватно описывающих как поведение ЛПР в процессе принятия решений, так и поведение объекта управления, в роли которого рассматривается бюджет муниципального образования с точки зрения его материального содержания. Таким образом, ключевой задачей проектирования СППР является решение вопросов создания адекватных экономико-математических моделей для поддержки принятия управляющих решений при бюджетном регулировании.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В проводимых в настоящее время исследованиях, касающихся отношений межбюджетного регулирования, в основном уделялось внимание формализации их пассивной составляющей, выполняющей функцию выравнивания бюджетной обеспеченности территорий — перераспределению средств бюджета вышестоящего уровня бюджетной системы в бюджеты нижестоящего уровня в форме дотаций, субсидий, субвенций. В рамках этих исследований разрабатывались математические модели для определения объемов финансовой помощи, оказываемой регионами муниципальным образованиям. Такие модели, безусловно, сыграли положительную роль, т.к. обеспечили снижение влияния субъективной составляющей на результаты расчетов при определении величины дотаций, субвенций, субсидий. Но они не смогли способствовать приостановлению роста имеющих место в муниципальных образованиях иждивенческих настроений, сдержат снижение дотационности и, как следствие, содействовать развитию инициативы и самостоятельности на местах. Как известно, функция стимулирования заинтересованности территорий к их экономическому росту возложена на процесс отчисления от налогов, подлежащих зачислению в бюджет субъекта РФ, по нормативам, величина которых определяется на формализованной основе [1]. Настоя-

щие исследования посвящены разработке экономико-математических моделей и основанных на них инструментов, используемых для принятия решений при установлении величины этих отчислений, на базе мультиагентного подхода. В этом аспекте предложена абстрактная модель в виде мультиагентной системы, формально описывающая процесс принятия решений по установлению отчислений в бюджеты муниципального образования от налогов и сборов, предназначенных для зачисления в бюджет региона. Мультиагентная система — это система, образованная несколькими взаимодействующими интеллектуальными экономическими агентами. Для анализа такой системы используется подход, противоположный кибернетическому, базирующемуся на концептуальной модели «чёрного ящика». Изучение систем по методу «чёрного ящика», безусловно, даёт положительные результаты, т.к. позволяет проводить эксперименты над изучаемым объектом и тем самым исследовать его поведение при изменении входных воздействий. Но эволюция модельной управленческой мысли, происходящая под воздействием синтеза разработок учёных и потребностей практики, трансформировала модельные взгляды на систему управления и определила новый подход к концептуальному моделированию в управлении, базирующийся на переходе от представлений «чёрного ящика» к полной схеме управления. Такая схема, кроме модели объекта управления, включает модель своеобразного «мыслящего устройства» — интеллектуального агента, играющего роль средств управления и реагирующего на заданные входные сигналы так же, как человек. Таким образом, в качестве объекта системного анализа при мультиагентном подходе рассматривается логически связанная пара: «средства управления» ↔ «объект управления». Создание модели абстрактного «мыслящего устройства», поддерживающего процесс принятия решений по долевым распределению поступлений от уплаты налогов, требует формальной постановки задачи управления [2].

Рассмотрим вектор  $\Omega_r = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k)$ , компоненты  $\omega_i$ ,  $i = \overline{1, k}$  которого принима-

ют значения величины поступлений от уплаты налогов физическими и юридическими лицами муниципального образования в бюджет субъекта федерации. Если обозначить через  $\Lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k)$  – вектор отчислений, компоненты которого  $\lambda_i, i = 1, \overline{k}$  интерпретируются как доли отчислений в бюджет муниципального образования от налога

вида  $\omega_i, i = 1, k$ , то доход местного бюджета от налоговых поступлений в порядке бюджетного регулирования составит  $\sum_{i=1}^k \lambda_i \cdot \omega_i$ . Тогда динамика остатков  $O(t)$

денежных средств бюджета муниципального образования может описываться уравнением:

$$O(t+1) = O(t) + \sum_{i=1}^k \lambda_i \omega_i(t) + \Omega_N(t) + \overline{\Omega}(t) - R(t),$$

где  $t$  – момент времени;  $R(t)$  – расходы бюджета;  $\Omega_N$  – поступления от уплаты налогов, не участвующих в долевом распределении;  $\overline{\Omega}_N$  неналоговые доходы и сборы. Принципиальная схема поступлений денежных средств в бюджет муниципального образования приведена на рис. 1.

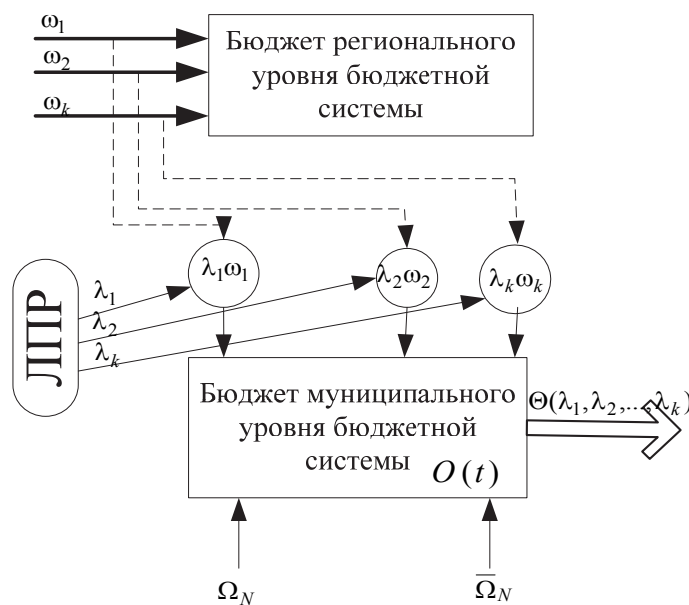


Рис. 1. Концептуальная модель межбюджетного регулирования

Объектом управления на этой схеме является величина долей отчислений  $\lambda_i, i = \overline{1, k}$  денежных средств в бюджет муниципального образования от уплаты налогов, включённых в список регулирующих. Задача управления заключающаяся в нахождении значений  $\tilde{\lambda}_i, i = \overline{1, k}$ , приводящих к оптимуму целевую функцию  $\Theta(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k)$ , формально описывается выражением:

$$\forall \lambda_1, \forall \lambda_2, \dots, \forall \lambda_k, \exists \tilde{\lambda}_1, \exists \tilde{\lambda}_2, \dots, \exists \tilde{\lambda}_k / \Theta(\tilde{\lambda}_1, \tilde{\lambda}_2, \dots, \tilde{\lambda}_k) = opt \Theta(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k)$$

**Формулирование цели статьи.** Целевая функция, обозначенная на рис. 1  $\Theta(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k)$ , представлена вектором

$$\Theta(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k) = (\Theta_1(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k),$$

$$\Theta_2(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k))$$

с компонентами, отражающими оценку вероятности дефицита

$$\Theta_1 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N I_1(t),$$

$$I_1(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} (1 - \frac{|O(t)|}{O(t)}), & \text{если } O(t) \neq 0; \\ 0, & \text{если } O(t) = 0; \end{cases}$$

и профицита

$$\Theta_2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N I_2(t),$$

$$I_2(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} (1 + \frac{|O(t)|}{O(t)}), & \text{если } O(t) \neq 0; \\ 0, & \text{если } O(t) = 0; \end{cases}$$

где  $N$  – период исследования [3,4].

Для управления величинами  $\Lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k)$  в рамках поставленной задачи предложена модель интеллектуального агента.

**Изложение основного материала исследования.** Моделирование интеллектуального экономического агента осуществляется посредством создания абстрактных мыслящих устройств – стохастических автоматов, функционирующих в случайных средах. Математический аппарат для создания подобных устройств предложен в [5] и применён в качестве структурных единиц анализа, описывающих целесообразное поведение интеллектуальных агентов в процессе принятия решений по управлению межбюджетным регулированием [3,4,6]. Стохастический автомат  $A$  представляет собой абстрактное адаптивное управляющее устройство, находящееся в каждый момент времени  $t$  в одном из возможных состояний  $\lambda(t) = \{\lambda_1(t), \lambda_2(t), \dots, \lambda_k(t)\}$  и способное переходить из состояния  $\lambda_i(t)$ ,  $i = \overline{1, k}$ , в состояние  $\lambda_j(t)$   $j = \overline{1, k}$ . Состояния автомата  $\lambda_i(t)$  идентифицируют ситуации, в течение которых имеет место такое распределение поступлений от уплаты налогов между бюджетами, при котором одна часть средств в размере  $\lambda_i(t) \cdot \omega_i$  поступает в бюджет муниципального образования, а другая, в размере  $(1 - \lambda_i(t)) \cdot \omega_i$  – в бюджет субъекта РФ. Величины  $\lambda_i(t)$   $i = \overline{1, k}$  принимают значения из отрезка  $[0, 1]$ :  $\lambda_i(t) \in [0, 1]$ . Является очевидным, что переходя в состояния  $\lambda_i$ ,  $i = \overline{1, k}$ , автомат  $A$  оказывает влияние на изменение остатков денежных средств в бюджете муниципального образования и доводит его в текущий момент времени  $t$  до некоторого уровня  $O(t)$ . Значения  $O(t)$  рассматриваются как выходные сигналы, воздействующие в момент времени  $t \in T$  на внешнюю среду, в которую погружён автомат. В качестве внешней среды рассматриваются условия, влияющие на формирование бюджета муниципального образования за счёт изменения величины поступлений  $\omega_i$  от уплаты налога. Вследствие того, что

наряду с поступлениями денежных средств в бюджет имеет место их расходование из бюджета, в дискретный момент времени  $t$  в бюджете муниципального образования может образоваться как положительный остаток денежных средств  $O(t) > 0$  (т.е. профицит), так и отрицательный остаток  $O(t) < 0$  (т.е. дефицит). Внешняя случайная среда, в которую погружён автомат, реагирует на выходы автомата  $O(t)$ , посылая на его вход сигналы  $x_1(t+1) = 1$  и  $x_1(t+1) = 0$ , идентифицирующие соответственно поощрения и порицания. Автомату выносятся поощрение или порицание, если он воздействует на внешнюю среду выходными сигналами соответственно  $O(t) > 0$  и  $O(t) < 0$ .

Введём вероятностные характеристики  $p = (p_1, p_2, \dots, p_k)$  случайной среды, в которую погружён стохастический автомат, где  $p_i$ ,  $i = \overline{1, k}$  – оценка вероятности поощрения автомата  $A$  в состоянии  $\lambda_i(t)$ . Тогда оценка вероятности  $q_i$   $i = \overline{1, k}$  порицания автомата в состоянии  $\lambda_i(t)$  составит  $q_i = 1 - p_i$ . Вычисление значений  $p_i$  и  $q_i$  осуществляется в соответствии с выражениями, записанными для  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$ .

Формальным эквивалентом поведения интеллектуального экономического агента в процессе принятия управленческого решения о величине  $\lambda_i(t)$ ,  $i = \overline{1, k}$  долевого распределения налогов в порядке межбюджетного регулирования является следующий алгоритм перехода автомата из состояния  $\lambda_i(t)$  в состояние  $\lambda_j(t)$ . Если автомат  $A$  в момент времени  $t$  находился в состоянии  $\lambda_i(t)$  и в этот момент был поощрён (т.е. в момент  $t$  на его вход поступил сигнал  $x_1(t) = 1$ ), то в момент времени  $(t+1)$  он остаётся в этом же состоянии. Если же автомат  $A$  в момент времени  $t$  находился в состоянии  $\lambda_i(t)$  и в этот момент ему вынесено порицание (т.е. в момент  $t$  на его вход поступил сигнал  $x_0(t) = 0$ ), то в момент времени  $(t+1)$  он перейдёт в любое другое состояние  $\lambda_j(t+1) \neq \lambda_i(t)$ . Положим, что

вероятность  $p_{ij}$  перехода автомата из состояния  $\lambda_i$  в состояние  $\lambda_j, j = \overline{1, k-1}$  одинакова для любого  $\lambda_j$  и равна  $p_{ij} = \frac{1}{k-1}$ . Будем считать, что в пределе время перехода автомата из одного состояния в другое равно нулю, т.е. переход из одного состояния в другое происходит мгновенно и в каждый момент времени автомат может находиться только в одном состоянии. Матрицы перехода автомата  $A$  из состояния  $\lambda_i$  в состояние  $\lambda_j$  при поощрении  $p_{ij}(1)$  и порицании  $p_{ij}(0)$ , имеющие вид

$$\|p_{ij}(1)\| = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix};$$

$$\|p_{ij}(0)\| = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{k-1} & \dots & \frac{1}{k-1} \\ \frac{1}{k-1} & 0 & \dots & \frac{1}{k-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{k-1} & \frac{1}{k-1} & \dots & 0 \end{pmatrix},$$

позволяют определить функцию перехода автомата из состояния в состояние в матричном виде при любом входном сигнале [4,6]:

$$\|p_{ij}\| = \begin{pmatrix} p_1 & \frac{1}{k-1}q_1 & \frac{1}{k-1}q_1 & \dots & \frac{1}{k-1}q_1 \\ \frac{1}{k-1}q_2 & p_2 & \frac{1}{k-1}q_2 & \dots & \frac{1}{k-1}q_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{k-1}q_k & \frac{1}{k-1}q_k & \frac{1}{k-1}q_k & \dots & p_k \end{pmatrix}$$

Элементы матрицы  $\|p_{ij}\|$  определялись исходя из выражения  $p_{ij} = p_{ij}(1)p_i + p_{ij}(0)q_i$  [5]. В виду того, что функционирование стохастического автомата описывается эргодической цепью Маркова, существуют финальные вероятности  $P_i^\Phi, i = \overline{1, k}$  пребывания автомата  $A$  в состоянии  $\lambda_i$ . Для определения  $P_i^\Phi, i = \overline{1, k}$  в [4,6] составлена система уравнений, реше-

ние которой позволяет определить выражения для финальных вероятностей:

$$\begin{cases} P_1^\Phi q_1 + P_1^\Phi \frac{1}{k-1} q_1 = P_1^\Phi \frac{1}{k-1} q_1 + P_2^\Phi \frac{1}{k-1} q_2 + \dots + P_k^\Phi \frac{1}{k-1} q_k \\ P_2^\Phi q_2 + P_2^\Phi \frac{1}{k-1} q_2 = P_1^\Phi \frac{1}{k-1} q_1 + P_2^\Phi \frac{1}{k-1} q_2 + \dots + P_k^\Phi \frac{1}{k-1} q_k \\ \dots \\ P_k^\Phi q_k + P_k^\Phi \frac{1}{k-1} q_k = P_1^\Phi \frac{1}{k-1} q_1 + P_2^\Phi \frac{1}{k-1} q_2 + \dots + P_k^\Phi \frac{1}{k-1} q_k \end{cases}$$

Выражения для финальных вероятностей  $P_1^\Phi = \frac{1}{q_1 \sum_{i=1}^k 1/q_i}; P_2^\Phi = \frac{1}{q_2 \sum_{i=1}^k 1/q_i};$

$$\dots, P_k^\Phi = \frac{1}{q_k \sum_{i=1}^k 1/q_i}$$

описывают оценку вероятности  $P_i^\Phi$  выбора автоматом состояния  $\lambda_i$  через бесконечно большой промежуток времени  $t \rightarrow \infty$ . В [6] доказаны теоремы о целесообразности поведения и асимптотической оптимальности автомата предложенной конструкции. В качестве критерия целесообразности поведения использовалось неравенство  $M(A) > M_0$ , где  $M(A) = P_i^\Phi \cdot p_i$  – оценка математического ожидания поощрения автомата  $A$ , а  $M_0 = \sum_{i=1}^k p_i / k$  – оценка мате-

матического ожидания выигрыша такого автомата, который выбирает свои действия равновероятно. В качестве критерия асимптотической оптимальности последовательности автоматов применялось равенство  $\lim_{k \rightarrow \infty} M(A) = p_{\max}$ , доказанное в [6]. Выпол-

нение этого условия означает, что автомат, принадлежащий асимптотически оптимальной последовательности, выполняет функции интеллектуального агента. При достаточно большой величине ёмкости памяти он ведёт себя как человек, которому заранее известны финальные вероятности пребывания автомата в своих состояниях и производит почти то действие, при котором оценка вероятности поощрения максимальна. В перспективе предложенная автоматная модель интеллектуального агента может быть использована в структуре системы поддержки принятия решений по управлению межбюджетным регулированием на уровне ре-

гиона.

**Выводы.** Формализация пассивной составляющей отношений межбюджетного регулирования, выполняющей функцию выравнивания бюджетной обеспеченности территорий, не способствует заинтересованности территорий в наращивании налогового потенциала и тем самым тормозит их экономический рост. Резервы повышения эффективности управления межбюджетными отношениями скрыты в возможностях моделирования решения стратегической задачи долевого распределения между уровнями бюджетной системы средств от уплаты налогов. Потребность теории и практики управления межбюджетным регулированием обусловили необходимость перехода от формального описания объекта управления по методу «чёрного ящика» к модели полной схемы управления, включающей модель мыслящего устройства – интеллектуального агента, осуществляющего решение поставленной задачи управления. В качестве интеллектуального агента предложена модель стохастического автомата, функционирующего в случайной среде, сформированной поступлениями от уплаты налогов физическими и юридическими лицами муниципальных образований. Предложенная модель обладает свойствами целесообразности поведения и асимптотической оптимальности, что позволяет её использовать в качестве формального эквивалента лица, принимающего решение. Разработанные авторами

экономико-математические модели межбюджетного регулирования на базе агентно-ориентированного подхода позволяют использовать их при создании систем поддержки принятия решений по управлению бюджетом на уровне региона.

### Литература

1. Streltsova E. D. Model of Stochastic Automation Asumptotically Optimal Behavior for Inter-budget Regulation. / E. D. Streltsova, I. V. Bogomyagkova, V. S. Streltsov. // European Researcher International Multidisciplinary Journal. – 2013. – P. 2096–2103.
2. Богомягкова И. В. Моделирование неопределённостей при управлении межбюджетным регулированием / И. В. Богомягкова. // Вестник Самарского государственного университета. – 2013. – С. 120.
3. Стрельцова Е. Д. Применение вероятностных автоматов в комплексе экономико-математических моделей оптимального бюджетного регулирования / Е. Д. Стрельцова. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2003. – №2. – С. 118–120. – 0,39 п.л.
4. Системы поддержки принятия решений при управлении процессами бюджетного регулирования: модели, методы, технологии [Текст]: Монография / Е. Д. Стрельцова; Федеральное агенство по образованию, Юж-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск : ЮРГТУ, ООО НПО «ТЕМП», 2005. – 180 с. – 11,6 п.л.)
5. Цетлин М. Л. Исследования по теории автоматов и моделирования биологических систем. / М. Л. Цетлин. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1969. – 316 с.
6. Богомягкова И. В. Модель долевого распределения налогов в системе поддержки принятия решений по управлению межбюджетным регулированием / И. В. Богомягкова. // Научные ведомости Белгородского государственного университета (серия Информатика). – 2010. – Выпуск 13/1.

Запропоновано структуру стохастичного автомата, який формалізує поведінку інтелектуального агента у процесі прийняття рішень щодо встановлення пропорцій розподілу коштів від сплати податків між рівнями бюджетної системи. Обґрунтовано доцільність поведінки та асимптотичну оптимальність автомата запропонованої конструкції. Отримано вирази для фінальних ймовірностей перебування автомата у кожному зі своїх станів.

**Ключові слова:** міжбюджетне регулювання, агентно-орієнтований підхід, економіко-математичні моделі, стохастичні автомати.

The structure of the stochastic automaton formalizing the behavior of intellectual agent in the decision making process to establish the proportions of the allocation of funds from taxes between levels of government is presented. The expediency of behavior and asymptotic optimality of the presented machine design is grounded. The expressions for the final probabilities of time of the machine in each state are given.

**Keywords:** interbudget regulation, agent – oriented approach, economic and mathematical models, stochastic automata.

Рекомендовано до друку д. т. н., проф. Кочурою Є. В.

Надійшла до редакції 14.02.14 р.