

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Lezhebokov Andrey, Doctor of Sociological Sciences, Professor, Professor of the Department of Sociology, North-Caucasus Federal University. E-mail leghebokov@yandex.ru

Sergodeeva Elena, Doctor of Philosophy, Professor, Professor of the Philosophy Department North-Caucasus Federal University. E-mail leghebokov@yandex.ru

УДК 330.42

Мараховский Александр Сергеевич, Торопцев Евгений Львович

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ РАВНОВЕСНО-СБАЛАНСИРОВАННЫХ ТРАЕКТОРИЙ РАЗВИТИЯ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ¹

В статье рассматривается возможность достижения магистрального роста с использованием гибридной равновесно-межотраслевой балансовой модели. Показаны преимущества и недостатки каждой модели в отдельности с точки зрения достижения магистральных темпов развития. Сделан вывод о необходимости кооперации моделей для получения различного вида гибридов, существенно пополняющих информационно-статистическую базу данных макроэкономических систем, развивающихся в магистральном направлении.

Ключевые слова: магистраль, экономический рост, межотраслевой баланс, равновесие, CGE модели.

Alexander Marakhovskii, Evgeny Toroptsev

THE ENGINEERING TOOLS MAIN EQUILIBRIUM-BALANCE TRAJECTORIES OF DEVELOPMENT OF MACROECONOMIC SYSTEMS

The article discusses the possibility of reaching a main increase with the use of hybrid equilibrium interbranch balance model. The advantages and disadvantages of each model separately from the point of view of achieving the main rates of development are shown. The conclusion is made about the need for cooperation of models to obtain different types of hybrids that significantly replenish the information and statistical database of macroeconomic systems developing in the main direction.

Key words: highway, economic growth, inter-industry balance, equilibrium, CGE models.

Введение / Introduction. Впервые Джон фон Нейман указал на существование некоего луча в многомерном экономическом пространстве, движение по которому осуществляется с максимальным темпом роста. Его ученик П. Самуэльсон, переработав математическую теорию, ввел бытовую трактовку такого движения, как движения по магистрали [1], то есть улучшенной дороге предназначенной для скоростного движения. Магистраль помогает оптимальным образом добраться из начального пункта X_0 в конечный пункт X_k , затратив при этом минимальное время и небольшое количество ресурсов. Для этого необходимо как можно быстрее свернуть на магистраль, затем двигаться по ней как можно дольше, в конце сойти с неё и обычной дорогой добраться в пункт назначения.

К сожалению, в экономике не существует таких подробных карт с указанием магистралей, но имеются планы – «дорожные карты» социально-экономического развития краев и областей страны. И опять-таки нигде в планах не указано, в какой момент регион будет функционировать

¹ Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ. Грант № 18-010-00193А. «Расширение информационно-аналитических возможностей CGE-моделей на основе динамического межотраслевого баланса».

в магистральном режиме, а в какое время будет осуществлен переход к конечной экономической цели. По всей видимости, такой учет магистральных темпов роста необходим, так же как и учет возможности перехода на магистраль и схода с нее в нужное время.

Не рисуются карты с магистралями еще и потому, что помимо экономических параметров функционирования региона на темпы экономического роста [2] влияют и социальные параметры. Количество социально-экономических параметров и характеристик региона, подлежащих управлению и изменению, может достигать нескольких тысяч [3]. Именно такое количество факторов содержится в современных CGE-моделях (Computable General Equilibrium Models).

Материалы и методы / Materials and methods. Одним из инструментов, способных адекватно описать все многообразие современной социально-экономической системы, является метод построения CGE моделей [4]. Данный метод активно используется за рубежом, позволяя оперировать новым классом вычислимых моделей общего равновесия. Первая модель была построена шведским экономистом Иохансеном в 1960 году [5]. В нашей стране направление равновесного моделирования с использованием CGE моделей возглавляет академик В. Л. Макаров [6]. Откалиброванная модель, параметры спроса и предложения которой находятся в состоянии равновесия, позволяет ответить на вопрос «что будет, если...» и в случае наличия вынуждающего экономического влияния оценить в количественной форме последствия этого влияния, а также дать конкретные рекомендации правительству и далее количественно оценить последствия его действий.

Несмотря на то что современные CGE-модели (например, RUSEC) формализуются в динамической постановке и, соответственно, должны обладать динамическими свойствами, в литературе отсутствует описание этих свойств. Например, ничего нельзя сказать об управляемости или наблюдаемости параметров CGE-моделей. Также остается открытым вопрос об устойчивости в этих моделях. Ведь если существуют проблемы с управляемостью и устойчивостью, то какой бы многомерной модель ни была, с ее помощью будет сложно или невозможно показать магистральный путь. Тот самый луч Дж. фон Неймана будет недостижим. Поэтому необходим симбиоз моделей, которые на различных этапах своей реализации будут обладать необходимыми динамическими свойствами и возможностью всеобщей вычислимости множества социально-экономических параметров.

Необходимыми динамическими свойствами, в том числе магистральными, обладает классическая модель В. Леонтьева [7], которая в динамической постановке описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{X}(t) = B^{-1}(E - A - K)X(t) + B^{-1}U(t), \quad X(0) = X_0, \quad (1)$$

здесь $X(t)$ – уровень валового выпуска; A – матрица прямых материальных затрат; B – матрица приростных фондоемкостей; K – матрица норм конечного потребления; E – единичная матрица; $U(t)$ – внешнее инвестиционное воздействие.

Матрицу A называют еще матрицей технологических коэффициентов, она отражает эффективность использования технологий переработки материальных ресурсов. Матрица K отвечает за спрос конечного потребителя, по сути, в ней содержатся коэффициенты, оценивающие эффективность технологии потребления. Матрица приростных фондоемкостей B содержит информацию о качестве использования основных средств и основных производственных фондов. Внешние инвестиции $U(t)$ распределены во времени и необходимы для того, чтобы экономическая система неким оптимальным образом вышла на магистраль. На втором этапе инвестиции необходимы, чтобы сойти с магистрали и добраться до пункта назначения также оптимальным, но иным способом. На двух этапах суммы инвестиций, скорее всего, будут разными, так как определение затрат на переход к магистрали и схождение с нее характеризуются различными временными интервалами и различными траекториями переходных процессов.

Выражение, описывающее магистраль, представляется в замкнутом виде системы дифференциальных уравнений, записанных в нормальной форме Коши:

$$\dot{X}_m(t) = G_m X_m(t), \quad X_m(0) = X_m 0, \quad (2)$$

где $X_m(t)$ – уровень валового выпуска магистральной системы, G_m – матрица замкнутой магистральной системы, $X_m(0)$ – начальные значения выпусков.

Вся информация о магистральных свойствах содержится в матрице G_m , именно эти свойства позволяют скользить валовому выпуску по лучу фон Неймана, развиваясь строго в магистральном направлении. Поэтому система (2) будет являться эталонной для любой другой системы, развивающейся произвольно и несбалансированно.

Магистральные свойства динамических систем в экономике позволяют говорить о том, что возможен бесконечный рост валового выпуска и связанного с ним ВВП со всеми его составляющими, в том числе и социальными в виде полного удовлетворения нужд домашних хозяйств. Такой рост возможен благодаря соблюдению определенных пропорций производства. Эти пропорции производства непосредственно заданы в собственном векторе, которому соответствует собственное число Фробениуса. Вектор этот всегда положителен, а вот собственное число матрицы, замкнутой по потреблению, является минимальным по модулю среди других собственных чисел спектра.

В общей сумме всевозможных экономических движений магистральному движению выпадает незавидная роль, это движение слабо выражено именно за счет малости собственного числа Фробениуса среди остальных. Но имеется одно преимущество, связанное с положительными пропорциями собственного вектора и такими же положительными пропорциями начальных условий, а также положительными пропорциями дельнейшего развития. Ни один другой собственный вектор в своем спектре не имеет полностью положительных коэффициентов. Это означает, что совершенно нормальная для экономики ситуация с положительными значениями всех валовых выпусков будет «не родной» и «чуждой» для таких векторов. Если грамотно воспользоваться этой ситуацией и соблюдать определенные пропорции производства, то можно всю сумму движений подчинить одному магистральному движению, тем самым получить пропорциональный рост, по сути соответствующий лучу фон Неймана.

Именно эта стратегия, позволяет добиться расширенного воспроизводства и постоянного роста. Но надо понимать, что этот рост не будет устойчивым и стабильным, ведь малейшие отклонения от магистральной пропорциональности развития практически сразу будут иметь последствия в виде резких сходов с магистрали, так как оставшиеся более мощные составляющие движения приобретут ненулевые амплитуды и уведут общее движение производства в сторону.

Математически сумма движений валовых выпусков $X(t)$ экономической системы записывается как решение задачи Коши с начальными условиями $X(0) = X0$ для n видов экономической деятельности:

$$X(t) = T \cdot \text{diag}(e^{\lambda t}) \cdot T^{-1} \cdot X0 = T \cdot \text{diag}(T^{-1} \cdot X0) \cdot e^{\lambda t} = Am \cdot e^{\lambda t}, \quad (3)$$

где λ и T – собственные числа и соответствующие им собственные векторы замкнутой матрицы задачи Коши, оператор $\text{diag}()$ раскладывает любой вектор в диагональную матрицу, Am – коэффициенты матрицы амплитуд.

В развернутом виде валовой выпуск является вектором как стандартный результат произведения матрицы на вектор:

$$\begin{pmatrix} X_1(t) \\ \vdots \\ X_n(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Am_{11} & \dots & Am_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Am_{n1} & \dots & Am_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{\lambda_1 t} \\ \vdots \\ e^{\lambda_n t} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Для случая магистрального роста один из столбцов матрицы амплитуд равен начальному значению валовых выпусков, остальные коэффициенты равны нулю. Номер ненулевого столбца определяется номером собственного числа Фробениуса. Приведем пример для трехмерной магистральной задачи Коши, у которой второе собственное число λ_2 является Фробениусовым корнем. В числовом исполнении решение (4) может быть записано в виде

$$\begin{pmatrix} X_1(t) \\ X_2(t) \\ X_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & X0_1 & 0 \\ 0 & X0_2 & 0 \\ 0 & X0_3 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{\lambda_1 t} \\ e^{\lambda_2 t} \\ e^{\lambda_3 t} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Несмотря на то что λ_2 является минимальным по модулю во всем спектре собственных чисел, общее движение валового выпуска будет подчинено именно ему, ввиду наличия ненулевых значений амплитуд, равных начальным значениям. Другие же движения, вопреки значительному превосходству показателей степени при экспоненте, не могут оказать никакого влияния, так как их амплитуды равны нулю и общее движение будет подчинено магистральному росту.

С экономической точки зрения магистральный рост целесообразен из-за отсутствия различных колебаний, но, как известно, реальная экономика без колебаний не существует [8], поэтому траектории магистрального роста всегда нужно иметь в виду как цель и стремиться к ним приблизиться, так как мера близости может являться одним из показателей эффективности работы экономической системы в целом.

Основная задача вывода на магистраль будет заключаться в подчинении траекторий валового выпуска, траекториям эталонной магистральной системы, то есть с течением времени, желательно небольшого, эти траектории должны совпасть. Именно в этом случае произойдет становление на магистраль с наискорейшим развитием и сбалансированным ростом.

Естественно, что система (1) своими собственными усилиями не может распределить пропорции валового выпуска оптимальным образом, этой системе необходима внешняя инвестиционная добавка $U(t)$. С ее помощью пропорции валового выпуска можно будет совместить с пропорциями эталонной системы. Математически этот результат можно записать в виде разности

$$Y(t) = X_m(t) - X(t), \quad (6)$$

которая стремится к нулю при некотором времени t_k , т. е. при $t = t_k$ разность (6) $Y(t_k) = 0$. С практической точки зрения необходимо синтезировать такую инвестиционную программу $U(t)$, которая позволила бы за минимальное время осуществить переход на магистральные темпы роста. В результате начиная со времени t_k уровень валового выпуска должен совпадать с уровнем эталонной системы.

Для нахождения решения необходимо продифференцировать уравнение (6) по t :

$$\dot{Y}(t) = \dot{X}_m(t) - \dot{X}(t). \quad (7)$$

Затем учитывая (1) и (2) перепишем (7) в следующем виде:

$$\dot{Y}(t) = G_m X_m(t) - B^{-1}(E - A - K)X(t) - B^{-1}U(t). \quad (8)$$

Принимая во внимание, что $X_m(t) = Y(t) + X(t)$, получим

$$\dot{Y}(t) = G_m Y(t) + (G_m - B^{-1}(E - A - K))X(t) - B^{-1}U(t). \quad (9)$$

В полученном выражении для разности $Y(t)$ функции $X(t)$ и $U(t)$ будут являться управляющими, и с их помощью систему (9) необходимо перевести в нулевое состояние. Определение программы инвестиций $U(t)$ должно проводиться в два этапа. На первом этапе необходимо приравнять $U(t)$ к нулю и, используя только управление от вектор-функции $X(t)$, привести систему (6) в устойчивое состояние. На втором этапе, зная траектории управления, можно определить $U(t)$, что будет показано ниже.

Возможность перевода системы из произвольного состояния, обусловленного начальными данными, в нулевое состояние называется управляемостью или достижимостью. Для системы (9) матрица управляемости имеет вид [9]

$$\Gamma_A[\alpha, \beta] = [\beta\alpha\beta \ \alpha^2\beta \dots \ \alpha^{n-1}\beta], \quad (10)$$

где $\alpha = G_m, \beta = G_m - B^{-1}(E - A - K)$.

Расчеты показали, что модель (9) полностью управляема, так как матрица $\Gamma_c[\alpha, \beta]$ имеет полный ранг. Это говорит о том, что имеется принципиальная возможность полного управления системой. Такое управление осуществляется с использованием регулятора инвестиционного воздействия Z , который бы сокращал разность между эталонной траекторией, тем самым приближая траектории валовых выпусков к магистральным.

Замкнем систему (9) используя преобразование

$$X(t) = ZY(t). \quad (11)$$

Предполагая, что в матрице Z содержится информация о внешних инвестиционных воздействиях, которые оказываются на систему (9) со стороны $X(t)$ и $U(t)$, получим уравнение замкнутой системы

$$\dot{Y}(t) = (G_m + (G_m - B^{-1}(E - A - K))Z)Y(t). \quad (12)$$

Синтез инвестиционного регулятора Z с наперед заданными значениями собственных чисел замкнутой системы состоит в том, чтобы поместить динамические свойства макросистемы в так называемый стоимостный функционал, который необходимо минимизировать. Данный подход развит в теории оптимального управления и позволяет определить параметры функционала качества.

Определим Z таким образом, что бы использование его в цепи положительной обратной связи (11) минимизировало квадратичный функционал:

$$J(X) = \int_0^{\infty} (Y^T Q Y + X^T R X) dt, \quad (13)$$

здесь Q – неотрицательно определенная, а R – положительно определенная диагональная матрица весовых коэффициентов. Весовые матрицы Q и R определяют соотношение между качеством регулирования (как быстро процесс сходится к нулю) и затратами на инвестиционное управление. Функционал (13) является стандартным вспомогательным критерием, по которому минимизируются отклонения между магистралью и фактической динамикой валовых выпусков развивающейся системы.

Искомую матрицу Z можно определить, решая уравнение Риккати [9]:

$$ZG_m + G_m^T Z - Z(G_m - B^{-1}(E - A - K))R^{-1}(G_m - B^{-1}(E - A - K))^T Z + Q = 0 \quad (14)$$

Вычислив Z и проинтегрировав систему (12), можно представить ее решение в явном виде

$$Y(t) = e^{(G_m + (G_m - B^{-1}(E - A - K))Z)t} Y(0). \quad (15)$$

В результате вычисления Z собственные числа матрицы $(G_m + (G_m - B^{-1}(E - A - K))Z)$ строго отрицательные, что позволяет траекториям (15) сближаться с нулевой отметкой, за какое-то ограниченное и наперед заданное время. Определение функциональной зависимости $Y(t)$, которая оптимальна с точки зрения минимума функционала (13), позволяет вычислить траектории сближения развивающейся и эталонной системы по формуле

$$X_{new}(t) = X_m(t) - Y(t). \quad (16)$$

Новые траектории $X_{new}(t)$ показывают пути вывода развивающейся системы на магистраль. Аналогичный алгоритм расчета траекторий движения следует применять для схода с магистрали и достижения конечной цели функционирования макросистемы.

Дальнейшее изложение посвящено количественной оценке инвестиционного воздействия $U(t)$ на оптимально развивающуюся систему (16), траектории которой со временем приближаются к магистральным траекториям. Для этого необходимо предположить, что инвестиционное воздействие на развивающуюся систему должно быть пропорционально новым траекториям сближения $X_{new}(t)$, тогда

$$U(t) = -MX_{new}(t), \quad (17)$$

где M – матрица инвестиционного воздействия, замыкающая систему (1) отрицательной обратной связью.

Синтез M с использованием интегральных квадратичных оценок затруднен ввиду неустойчивости процесса расширения развивающейся экономической системы (1). Для этой системы квадратичный интеграл качества вида (13) будет расходящимся, что следует из требования постоянного расширения валового выпуска, преследующего уровень магистральной траектории.

Математически определение коэффициентов матрицы M можно сформулировать, используя метод наименьших квадратов, следующего вида:

$$F(M) = \sum_i \left(e^{B^{-1}(E-A-K-M)t} X_{new}(0) - X_{new}(t) \right)^2. \quad (18)$$

Результаты и обсуждение / Results and discussion. На практике минимизировать (18) удалось лишь при малых размерностях макросистем, для больших размерностей обратная задача восстановления коэффициентов матрицы M требует большей априорной информации, которая отсутствует в гладких траекториях.

Дополнительная информация содержится в CGE-моделях, привычно работающих с большими и сверхбольшими размерностями макроэкономических систем. Для этого случая необходима совместная работа двух моделей. Межотраслевая модель при этом поставляет оптимальные траектории, по сути, предоставляя магистральные производственные функции для калибровки параметров CGE-модели. Откалиброванная CGE-модель может предоставить дополнительную информацию для определения коэффициентов матрицы инвестиционного воздействия.

Наличие коэффициентов матрицы M в замкнутой модели развивающейся системы (1) свидетельствует о необходимости изменений в экономических параметрах модели для достижения поставленных целей магистрального функционирования, так как без этой матрицы и соответственно без инвестиционного воздействия система развивается несбалансированно. Сбалансированность в системе может быть достигнута путем соответствующих изменений коэффициентов матриц прямых затрат и приростных фондоемкостей, а также параметров, отвечающих за конечное потребление, при этом матрица замкнутой системы (1) должна оставаться неизменной. В этой матрице содержится информация о темпах роста и пропорциях магистрального развития каждой отрасли макросистемы. Изменение экономических параметров динамических систем непременно скажется на уровнях финансово-денежных потоков циркулирующих внутри системы и за ее пределами, но эти изменения можно контролировать с помощью математического аппарата гибридных равновесно-балансовых моделей [10].

Заключение / Conclusion. Предложен математический аппарат, объединяющий различные свойства двух типов моделей макроэкономического описания для достижения целей магистрального управления. Гибридная равновесно-сбалансированная модель позволяет проектировать оптимальные инвестиционные воздействия на макроэкономические системы с целью достижения магистральных темпов экономического роста. В этой связи межотраслевая балансовая модель строит эталонные траектории магистрального роста и определяет оптимальные пути перехода к этим траекториям. С помощью CGE-моделирования вычисляются конкретные показатели социально-экономического развития, которые необходимо изменить системе для оптимального подхода к магистральной, а также схода с нее и оптимального достижения конечной экономической цели.

ЛИТЕРАТУРА И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Paul A. Samuelson. Maximum Principle in Analytical Economics // The American Economic Review. June 1972. V. 62. No 3. Pp. 249–262.
2. Шараев Ю. С. Теория экономического роста. М.: ГУ ВШЭ, 2006. 250 с.
3. Медведев Д. А. Социально-экономическое развитие России: обретение новой динамики // Вопросы экономики. 2016. № 10. С. 5–30.
4. Лаврентьев А. С., Криничанский К. В. Методы оценки влияния структурной политики на макроэкономические параметры: модели общего равновесия // Региональная экономика: теория и практика. 2016. Том 14. Выпуск 9. С. 98–112.
5. Johansen L. A Multisectoral Study of Economic Growth, Contributions to Economic Analysis 21, North-Holland Publishing Company, 1960. Pp. x+177.
6. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сулакшин С. С. Применение вычислимых моделей в государственном управлении. М.: Научный эксперт, 2007. 304 с.
7. Леонтьев В. Межотраслевая экономика. М.: Экономика, 1997. 478 с.
8. Кондратьев Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. М.: Экономика, 2002. 768 с.
9. Гудвин Г. К. Проектирование систем управления. М.: БИНОМ; Лаборатория знаний, 2004. 911 с.
10. Дужински Р. Р., Торопцев Е. Л., Мараховский А. С. Объединение информационно-аналитических возможностей равновесных и динамических межотраслевых моделей // Экономический анализ: теория и практика. 2018. Т. 17. № 4. С. 736–753.

REFERENCES AND INTERNET RESOURCES

1. Paul A. Samuelson. Maximum Principle in Analytical Economics // The American Economic Review. June 1972. V. 62. No 3. Pp. 249–262.
2. Sharaev YU. S. Teoriya ekonomicheskogo rosta (Economic growth theory). M.: GU VSHEH, 2006. 250 s.
3. Medvedev D. A. Social'no-ekonomicheskoe razvitie Rossii: obretenie novej dinamiki (Social and economic development of Russia: finding new dynamics) // Voprosy ekonomiki. 2016. No 10. S. 5–30.
4. Lavrent'ev A. S., Krinichanskij K. V. Metody ocenki vliyaniya strukturnoj politiki na makroekonomicheskie parametry: modeli obshchego ravnovesiya (Methods for assessing the impact of structural policy on macroeconomic parameters: General equilibrium models) // Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika. 2016. Tom 14. Vypusk 9. S. 98–112.
5. Johansen L. A Multisectoral Study of Economic Growth, Contributions to Economic Analysis 21, North-Holland Publishing Company, 1960. Pp. x+177.
6. Makarov V. L., Bahtizin A. R., Sulakshin S. S. Primenenie vychislmykh modelej v gosudarstvennom upravlenii (Application of computable models in public administration). M.: Nauchnyj ehkspert, 2007. 304 s.
7. Leont'ev V. Mezhotraslevaya ekonomika (Intersectoral economics). M.: EHkonomika, 1997. 478 s.
8. Kondrat'ev N. D. Bol'shie cikly kon'yunktury i teoriya predvideniya (Large cycles of conjuncture and the theory of foresight). M.: EHkonomika, 2002. 768 s.
9. Gudvin G. K. Proektirovanie sistem upravleniya (Design of control systems). M.: BINOM; Laboratoriya znaniy, 2004. 911 s.
10. Duzhinski R. R., Toropcev E. L., Marahovskij A. S. Ob"edinenie informacionno-analiticheskikh vozmozhnostej ravnovesnyh i dinamicheskikh mezhotraslevykh modelej (Integration of information and analytical capabilities of equilibrium and dynamic interindustry models) // EHkonomicheskij analiz: teoriya i praktika. 2018. T. 17. No 4. S. 736–753.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Мараховский Александр Сергеевич, доктор экономических наук, доцент, научный консультант, индивидуальный предприниматель, Ставрополь, Российская Федерация. E-mail: marahov@yandex.ru

Торопцев Евгений Львович, доктор экономических наук, профессор кафедры бизнес-информатики, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Российская Федерация. E-mail: eltoroptsev@yandex.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Marakhovsky Alexander, Doctor of economic Sciences, associate Professor, scientific consultant, individual entrepreneur, Stavropol, Russian Federation. E-mail: marahov@yandex.ru

Toroptsev Evgeny, Doctor of Economics, Professor of business Informatics Department, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russian Federation. E-mail: eltoroptsev@yandex.ru

УДК 303.094.7

**Пенькова Инесса Вячеславовна, Боднар Алина Валериевна,
Искра Елена Александровна**

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕКЛАМНОЙ КАМПАНИИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ДИФФУЗИИ БАССА

В статье поставлена цель построить имитационную модель управления рекламным бюджетом компании. Модель разработана с использованием инструментария имитационного моделирования AnyLogic. В ее основу была положена модель диффузии Басса, которая предполагает активное использование коммуникационных каналов между участниками связи. Ключевыми точками модели стали зависимости прибыли и объемов продаж в условиях «включения» и «выключения» статьи затрат на рекламу товара, с одной стороны, и влияние мнения потребителей на принятие решения потенциальных покупателей, с другой стороны.

Ключевые слова: рекламная кампания, модель Басса, имитационное моделирование, диффузия по Бассу, бюджет рекламной кампании.

Inessa Penkova, Alina Bodnar, Elena Iskra

IMITATING MODELLING OF ADVERTISING CAMPAIGN ON THE BASIS OF MODEL OF DIFFUSION OF BASS

The article aims at creating the simulating model for managing the company's advertising budget. This model is developed using the AnyLogic simulation tool. It is based on the Bass diffusion model, which assumes active usage of communication channels between participants connected. Therefore, the key points of the model are the dependence of profit and sales volumes, under the conditions of «inclusion» and «deactivation» of the cost to advertise goods, on the one hand, and the consumers' opinions influencing the decision of potential buyers, on the other hand.

Key words: advertising campaign, Bass model, simulation modeling, Bass diffusion, advertising campaign budget.

Введение / Introduction. В связи с планомерным переходом к цифровой экономике и повсеместному распространению интернет-коммерции становится наиболее актуальной проблема выбора адекватного набора рекламных средств продвижения инновационного продукта. С целью минимизации рисков и устранения неэффективного использования денежных средств на размещение рекламы необходимо оптимально распределять рекламный бюджет и прогнозировать возможный эффект от размещения рекламы. Решение подобных задач невозможно без применения формализованных подходов. Увеличение объемов информации, и сложности ее последующего анализа, обуславливают применение математических методов, широко используемых при изучении и прогнозировании потребительского рынка, стимулировании сбыта, формировании портрета потребителя, управлении товарными запасами, прогнозировании показателей эффективности [1–4].