

СТАТЬИ

УДК 004:330.46

**РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ  
РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ СЕТЬЮ  
НА ОСНОВЕ СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

**Апанасенко А.В., Берг Д.Б.**

*ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург,  
e-mail: stacy-chan@yandex.ru, bergd@mail.ru*

Статья посвящена разработке приложения на основе имитационной системно-динамической модели. Наиболее оптимальным методом, позволяющим интегрировать имитационную модель во внешнюю систему, признан экспорт модели в виде программного кода. Этот код может быть встроен во внешние информационные системы или работать как самостоятельное приложение. Метод опробован на примере системно-динамической модели, описывающей деятельность муниципальной предпринимательской сети. В результате получено Java-приложение, которое может быть использовано лицами, управляющими предпринимательской сетью, как инструмент поддержки принятия решений. Оно обладает всеми преимуществами классической системно-динамической модели. Приложение даёт возможность следить за динамическим изменением состояния коммуникаций в сети, учитывая различные исходные параметры. Кроме того, оно изображает состав и структуру сети в удобном для восприятия виде. Это помогает принять наиболее оптимальное решение касательно товарно-денежных отношений внутри и вне сети. При этом приложение может запускаться независимо от наличия на компьютере среды моделирования. А значит, не имеет основного недостатка имитационных моделей. Предложенное приложение имеет широкие перспективы развития и может в дальнейшем стать основой информационной системы. Такая система позволит принимать управленческие решения на основе результатов вычислений, а значит, делать это более эффективно.

**Ключевые слова:** предпринимательская сеть, имитационное моделирование, системная динамика, Java-приложение, интеграция, поддержка принятия решений, управление, товарно-денежный обмен

**DEVELOPMENT OF AN APPLICATION TO SUPPORT DECISION-MAKING  
FOR MANAGING AN ENTREPRENEURIAL NETWORK BASED  
ON A SYSTEM-DYNAMIC MODEL**

**Apanasenko A.V., Berg D.B.**

*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg,  
e-mail: stacy-chan@yandex.ru, bergd@mail.ru*

The article is devoted to an application based on a simulation system-dynamic model. The most optimal method to integrate a model into an external system is the export as a program code. This code can be embedded in external information systems or run as a standalone application. The method was tested on the system-dynamic model describing the municipal entrepreneurial network. The result is a java application that can be used as a decision-making support tool. It has all the advantages of the classic system-dynamic model. The application makes it possible to track the dynamic changes in network communications, taking into account various initial parameters. In addition, it shows network composition and structure in an easy form. This helps to make the most optimal decision regarding commodity-money relations inside and outside the network. The application can be runned regardless of the simulation environment on the user's computer. This means that it does not have the main disadvantage of simulation models. The proposed application has broad development prospects. In future it may become an information system basis. This system will allow making management decisions based on the calculations results, which means they will be more efficient.

**Keywords:** entrepreneurial network, simulation, system dynamics, java application, integration, decision support, managing, commodity-money exchange

Имитационное моделирование – одна из наиболее эффективных и универсальных методологий изучения сложных систем [1]. Имитационная модель (ИМ) – вид компьютерной модели, которая реализуется с помощью специального программного обеспечения и воспроизводит функционирование системы в упрощенном виде. При её использовании натуральный эксперимент заменяется имитационным, что позволяет снизить до минимума затраты на эксперимент и риски при его проведении.

Один из видов имитационного моделирования – системная динамика, метод, предложенный Дж. Форрестером [2]. Основой этого вида моделей являются дифференциально-разностные уравнения, с помощью которых выражается взаимовлияние параметров модели в динамике. Этот подход особенно хорош для выявления причинно-следственных связей между объектами и явлениями [3]. Это особенно важно при изучении сложных экономических систем, одним из примеров которых являются предпринимательские сети.

Предпринимательская сеть – это объединение предприятий – сетевых партнёров, которые действуют в общих интересах (социальных, экономических, производственно-технических и других), учитывая критерии оптимальности функционирования сетевой структуры, и могут использовать общие ресурсы [4].

Часто предпринимательская сеть функционирует в условиях определённой автономии, как, например, предпринимательская сеть муниципалитета. Значимую роль в успешности функционирования предпринимательской сети местного сообщества играет правильность принятия решения при самоуправлении. В этом случае системно-динамическая ИМ может использоваться как инструмент поддержки принятия управленческих решений относительно сетевого взаимодействия [5; 6].

Но при всех преимуществах имитационного эксперимента как метода исследования у него есть серьёзный недостаток, ограничивающий возможности применения. Такой эксперимент невозможно провести без применения среды моделирования – специализированного программного обеспечения для разработки и запуска имитационных моделей. Одним из способов решения данной проблемы является интеграция модели с внешней информационной системой и проведение эксперимента внутри неё.

Целью данного исследования является разработка приложения для поддержки принятия управленческих решений об оптимальной структуре и способе функционирования предпринимательской сети, основанной на системно-динамической модели. Предложенное приложение призвано бороться с ограничениями использования данного метода на практике, сделав ИМ частью используемой информационной системы.

#### Материалы и методы исследования

Интегрировать ИМ во внешнюю информационную систему можно несколькими способами:

- использовать таблицы MS Excel в качестве источника данных;
- использовать базы данных и информационные хранилища для получения исходных данных и хранения результатов;
- сделать модель в виде кода частью информационной системы или автономным компьютерным приложением;
- опубликовать модель в сети Интернет на специализированных ресурсах.

Сравнение всех перечисленных методов [7] позволяет предположить, что оптимальным выбором будет разработка автономного Java-приложения на основе ИМ

с применением многофункциональной среды моделирования AnyLogic. Полученное таким образом приложение может использоваться самостоятельно или быть включено в состав универсальной информационной системы. Такой подход позволит использовать все преимущества ИМ как инструмента поддержки принятия решений без ограничений, связанных с оснащённостью компьютера пользователя специализированным программным обеспечением. Начало реализации такой системы было положено в виде разработки приложения для управления предпринимательской сетью на основе ИМ.

Объектом моделирования является предпринимательская сеть муниципалитета. Сеть составляют 5 сетевых партнёров. 4 из них – отраслевые объединения (население, пищевая промышленность, растениеводство и животноводство, услуги), а пятый – внешняя среда. Все связи между сетевыми партнёрами взаимно направленные. Внешнюю среду также можно считать участником сетевого взаимодействия, поскольку финансовые отношения существуют не только между участниками сети, но и с предприятиями вне её, а значит, систему нельзя считать закрытой. Схематически структура предпринимательской сети муниципалитета изображена на рис. 1.

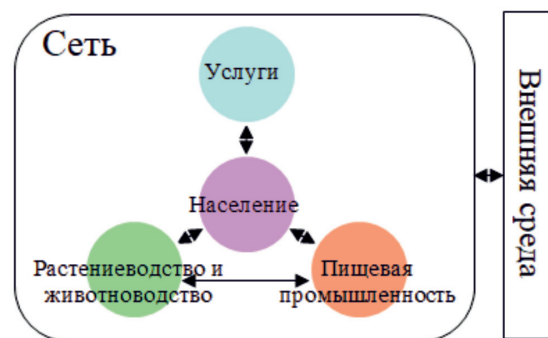


Рис. 1. Схема предпринимательской сети муниципалитета

Ранее для описанной сети уже была создана системно-динамическая модель в среде имитационного моделирования Powersim [8]. В рамках данного исследования аналогичная модель была реализована в AnyLogic. Эта среда моделирования обладает более широкими возможностями, чем Powersim:

- использование встраиваемого Java-кода позволяет запрограммировать вычисления без ограничений среды моделирования;
- принятое разделение на экран запуска и экран работы модели расширяет воз-

возможности применения пользовательского интерфейса;

– встроенные возможности среды моделирования позволяют без привлечения стороннего программного обеспечения преобразовать имитационную модель в мультиплатформенное Java-приложение;

– возможность программно управлять ходом имитационных экспериментов и использовать различные внешние источники данных позволяет сделать полученную модель частью информационной системы.

Особенностью как прошлой, так и текущей версии разработанной имитационной модели является моделирование применения внутренних денег. Это условные единицы расчёта, принятые в сообществе. Они могут использоваться в качестве средства обмена между участниками сети, когда реальных де-

нежных средств не хватает для проведения товарно-денежного обмена [9].

Относительно прошлой версии модели усовершенствован способ расчёта их количества. Ранее каждый сетевой партнёр получал на текущем шаге столько дополнительных платёжных средств, сколько составил его дефицит на предыдущем шаге. В этом случае, если текущий шаг тоже оказывается убыточным, то количество денежных средств не поднимается выше нуля. При новом способе расчёта сетевой партнёр получает дополнительно столько внутренних денег, сколько был должен на предыдущем шаге и должен на текущем. Таким образом, количество денежных средств может составить меньше нуля только на первом шаге моделирования. Это более точно отражает специфику применения внутренних денег:

$$IM_{k(t)} = \begin{cases} \text{if } IMU = 1 \& ME_{k(t)} < 0 \\ \text{then } (-1 \times ME_{k(t)}) + DPP_{k(t)} \& MCE_{K(t)} = \sum_1^N w_n^k, \\ \text{else } 0 \end{cases} \quad (1)$$

где

$$DPP_{k(t)} = \begin{cases} \text{if } (MEA_{k(t-1)} - MCE_{k(t-1)}) < 0 \\ \text{then } (-1 \times (MEA_{k(t-1)} - ME_{k(t-1)}) < 0), \\ \text{else } 0 \end{cases} \quad (2)$$

где  $IM_k$  – сумма внутренних денег, использованная k-м участником сети;

$IMU$  – признак, определяющий, используются в системе внутренние деньги ( $IMU = 1$ ) или нет ( $IMU = 0$ );

$ME_k$  – сумма денег, доступная k-му участнику сети для проведения операций;

$DPP_k$  – дефицит k-го участника сети за предыдущий период;

$MCE_k$  – сумма денег, потраченная k-м участником сети;

$MEA_k$  – сумма денег, полученная k-м участником сети от других;

$w_n^k$  – элемент вектора товарно-денежного обмена, равный сумме, заплаченной k-м участником сети за продукцию n-го участника. Значение параметра на каждом шаге моделирования рассчитывается на основе плановых значений ( $RE_{K, data}$ );

$N$  – количество партнёров в сети,  $N = 5$ ;

$t$  – текущий шаг моделирования, соответственно  $(t + 1)$  – следующий шаг.

Кроме стандартной диаграммы причинно-следственных связей, к модели был добавлен интерфейс ввода исходных данных и графики результирующих показателей. После этого она была экспортирована

как Java-приложение с помощью встроенного инструмента AnyLogic. Таким образом было получено мультиплатформенное приложение для поддержки принятия управленческих решений о структуре и деятельности предпринимательской сети.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Полученное приложение включает две экранные формы. Первая предназначена для пользовательского ввода входных данных и настройки параметров модели. На ней расположена группа текстовых полей в виде матрицы взаимного товарно-денежного обмена. Размерность матрицы соответствует количеству сетевых партнёров. Матрица уже заполнена плановыми значениями, на основе которых динамически формируются исходные данные для моделирования. Плановые значения получены в результате анализа данных о потреблении жителей муниципалитета [10]. Кроме того, доступно редактирование значений полей пользователем. Это существенно упрощает проведение имитационных экспериментов с различными входными данными. Также на форме расположен

переключатель, регулирующий использование внутренних денег в предпринимательской сети. Это основной управляющий параметр модели. Форма представлена на рис. 2.

Вторая экранная форма содержит диаграмму причинно-следственных связей – основной интерфейс системно-динамической модели. На диаграмме можно выделить 6 логических блоков. 4 блока – участники сети (население, пищевая промышлен-

ность, растениеводство и животноводство, услуги). Пятый блок представляет внешнюю среду. Таким образом, структура диаграммы в укрупненном виде соответствует схеме на рис. 1. Шестой блок «Управление и результирующие показатели» был добавлен в интерфейс приложения для удобства. В него входят управляющие параметры и результирующие показатели модели. Диаграмму можно увидеть на рис. 3.

## Моделирование предпринимательской сети муниципалитета

**Матрица взаимного потребления (взаиморасчеты)**

	Растениеводство и животноводство	Пищевая промышленность	Население	Услуги	Внешняя среда
Растениеводство и животноводство	0	6023.58	2966.67	0	205069.83
Пищевая промышленность	8303.83	0	15854.25	0	29798.92
Население	685.58	18135.33	0	1423.50	15478.92
Услуги	0	0	1423.50	0	879.75
Внешняя среда	205069.83	29798.92	15478.92	879.75	0

Использование внутренних денег

Запустить

Рис. 2. Экранная форма для ввода исходных данных и настройки параметров модели

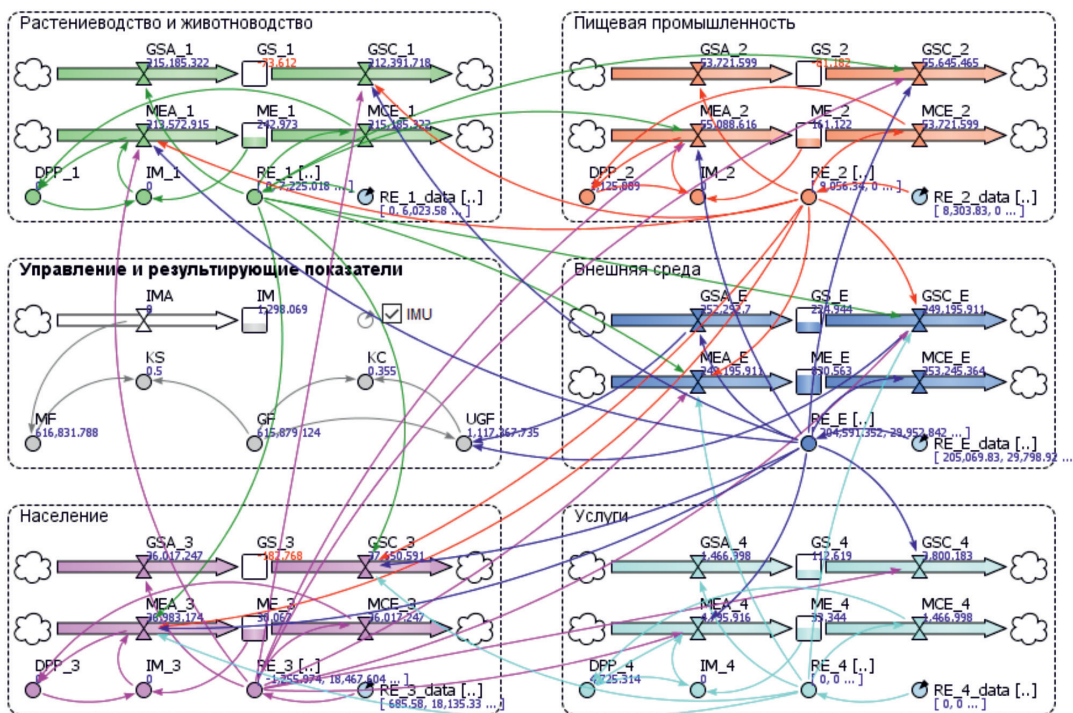


Рис. 3. Диаграмма причинно-следственных связей системно-динамической модели

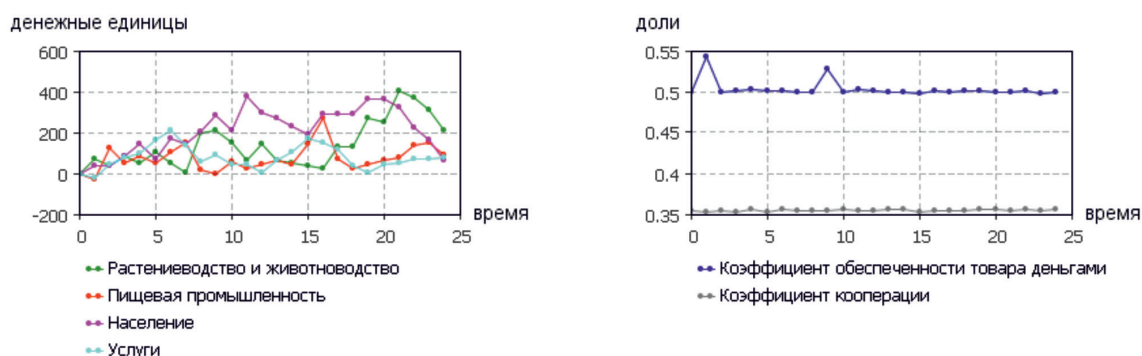


Рис. 4. Графики результирующих показателей модели

Типовые блоки, соответствующие сетевым партнёрам, содержат уровни, потоки и переменные системной динамики, отражающие внутреннюю структуру и основные показатели соответствующего сетевого партнёра. Для именованных переменных используются те же условные обозначения, что и в уравнениях. Блок «Управление и результирующие показатели», в свою очередь, имеет уникальную структуру. Он содержит переменные, используемые для расчёта результирующих показателей. Здесь же располагается переключатель использования внутренних денег, что позволяет регулировать их наличие не только перед началом, но и в ходе имитационного эксперимента.

Все взаимосвязи переменных на диаграмме реализованы стрелками (связь в нотации AnyLogic). Товарно-денежные потоки между сетевыми партнёрами обозначены цветом. К примеру, связи, источником которых является «Растениеводство и животноводство», изображены зелёными. Вспомогательные связи, используемые для расчёта итоговых показателей, наоборот, были скрыты, так как не отражают структуру предпринимательской сети. Такой подход позволяет наилучшим образом визуализировать состав сети и взаимосвязи между её элементами.

Кроме диаграммы причинно-следственных связей, на втором экране располагаются графики результирующих показателей модели. Они представлены на рис. 4.

На первом графике отображено в динамике количество денежных средств сетевых партнёров. Этот показатель показывает количество денежных средств участников сети, что определяет, может ли предприятие участвовать в товарно-денежном обмене. Если баланс отрицательный, обмена не происходит. Чтобы решить эту проблему, предприятия муниципалитета будут вынуждены прибегнуть к кредитованию, что не выгодно в долгосрочной перспективе и не всегда возможно. А неспособность к обмену даже

одного участника сетевого взаимодействия отрицательно влияет на состояние других сетевых партнёров, взаимодействующих с ним. И напротив, стабильная возможность обмена положительно отражается на деятельности не только отдельных предприятий, но и всей предпринимательской сети.

Второй график построен по значениям двух коэффициентов, которые являются важными результирующими показателями деятельности предпринимательской сети как единого целого:

– коэффициент ликвидности отражает соотношение объема денег к количеству товаров в системе. Чем выше этот коэффициент, тем более платежеспособными являются участники сети;

– коэффициент кооперации описывает то, насколько продуктивен обмен между сетевыми партнёрами. Чем выше его значения, тем более полезным для предприятий является участие в сети.

Показатели, представленные на графике, позволяют составить впечатление о состоянии предпринимательской сети и отследить его в динамике, на разных этапах её функционирования. Это полезно при проведении имитационных экспериментов с различными исходными данными и значениями управляющих параметров.

### Заключение

Уже сейчас разработанное приложение может быть полезно для проверки гипотез об управлении сетевым взаимодействием предприятий муниципалитета. Оно обладает всеми преимуществами классической системно-динамической модели. При этом не требует использования специализированного программного обеспечения, а значит, не несёт технических ограничений и подходит для применения людьми, не обладающими специальными знаниями компьютерных технологий. Приложение даёт возможность следить за динамическим из-

менением состояния коммуникаций в сети, учитывая различные исходные параметры. Также оно изображает состав и структуру сети в удобном для восприятия виде. Возможность проверить управленческую гипотезу без финансовых и репутационных рисков поможет лицам, участвующим в самоуправлении муниципалитетом, принимать более взвешенные и обоснованные решения касательно товарно-денежных отношений внутри и вне сети. А удачное самоуправление обеспечит условия автономизации и развития местного сообщества.

Кроме того, предложенное приложение имеет широкие перспективы развития. Оно может стать основой информационной системы, включающей хранилища данных, интерфейсы, другие приложения и модели. Эти возможности снимают большинство ограничений при разработке инструментария поддержки принятия решений администрацией муниципалитета. Такую систему планируется реализовать в рамках дальнейших исследований.

*Данное исследование проводилось при финансовой поддержке гранта Российской фонда фундаментальных исследований № 19-010-00974 «Экспериментальные институциональные модели автономизации финансов местных сообществ в условиях снижения доверия населения к участию в бюджетном процессе».*

## Список литературы

1. Угрюмова Н.В., Валиев Ш.З. Управление организацией: системный подход к оценке эффективности // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2017. № 1 (19). С. 20–26.
2. Forrester J.W. Counterintuitive behavior of social systems. *Technology Review*. 1971. Vol. 73. No. 3. P. 52–62.
3. Abdelkafi N., Täuscher K. Business Models for Sustainability From a System Dynamics Perspective. *Organization and Environment*. 2016. Vol. 29 (1). P. 74–96. DOI: 10.1177/1086026615592930.
4. Гераськин М.И. Согласование экономических интересов в корпорациях // Управление большими системами. 2006. № 15. С. 68–78.
5. Кантор О.Г., Спивак С.И. Построение моделей системной динамики в условиях ограниченной экспертной информации // Информатика и ее применения. 2014. № 2. С. 111–121.
6. Чистяков С.В. Сетевая организационная форма и сетевые экономические отношения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 21, Управление (государство и общество). 2012. № 2. С. 74–85.
7. Апанасенко А.В., Берг Д.Б. Сравнительный анализ методов интеграции имитационных моделей с внешними информационными системами // Весенние дни науки ВШЭМ: сборник докладов международной конференции студентов и молодых ученых. (Екатеринбург, 17–19 апреля 2019 г.). Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2019. С. 184–186.
8. Berg D.B., Kolomytseva A.O., Apanasenko A.V., Isaichik K.F. Modelling of the Municipality Entrepreneurial Community Functioning Using the Methods of System Dynamics. *IFAC-PapersOnLine*. 2018. Vol. 51 (32). P. 61–66. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.354.
9. Берг Д.Б., Рябин А.А. Альтернативные средства расчетов как институт развития кооперации // Препринт ИВИ. Екатеринбург: МИАБ. 2014. № 1.
10. Kolomytseva A., Kazakova H., Medvedeva M. Interaction risk assessment in partner entrepreneurial networks. *International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2017*. American Institute of Physics Inc. 2018. Vol. 1978. P. 440013. DOI: 10.1063/1.5044042.