

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.2>

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Научная статья

Быстров В.В.^{1,*}, Халиуллина Д.Н.², Малыгина С.Н.³

¹ORCID : 0000-0002-9369-8457;

²ORCID : 0000-0002-7273-0649;

³ORCID : 0000-0001-6010-5662;

^{1,2} Институт информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова ФИЦ Кольский научный центр,
Апатиты, Российская Федерация

³ филиал Мурманского арктического университета в г. Апатиты, Апатиты, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (vitbist[at]mail.ru)

Аннотация

Проблема создания технологий и программных средств информационно-аналитической поддержки управления региональными социально-экономическими системами все еще остается актуальной. Текущая работа посвящена созданию подобного рода инструментов на основе интеграции концепции жизнеспособности (resilience) сложных систем, онтологического проектирования, имитационного моделирования и многомерного анализа данных. В исследовании в качестве объекта рассматривается региональная система «Бизнес-Сообщество-Власть». Авторы представляют основные аспекты разработки имитационной модели данной системы как инструментального средства для оценки ее жизнеспособности и отдельных ее свойств: функциональности, восстанавливаемости и устойчивости. Предлагается схема взаимодействия программного компонента многомерного анализа данных и имитационной модели, которая используется для автоматизации проведения вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: имитационная модель, региональная социально-экономическая система, жизнеспособность, многомерный куб данных.

SIMULATION MODELLING AND VIABILITY ASSESSMENT OF REGIONAL SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

Research article

Bystrov V.V.^{1,*}, Khaliullina D.N.², Malygina S.N.³

¹ORCID : 0000-0002-9369-8457;

²ORCID : 0000-0002-7273-0649;

³ORCID : 0000-0001-6010-5662;

^{1,2} Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling FRC Kola Science Centre, Apatity, Russian Federation

³ Apatity Branch of Murmansk Arctic University, Apatity, Russian Federation

* Corresponding author (vitbist[at]mail.ru)

Abstract

The problem of creating technologies and software tools for information and analytical support of management of regional socio-economic systems is still relevant. The current work is dedicated to the creation of such tools based on the integration of the concept of resilience of complex systems, ontological design, simulation modelling and multidimensional data analysis. The research focuses on the regional system "Business-Society-Power" as an object. The authors present the main aspects of developing a simulation model of this system as a tool for assessing its viability and its individual properties: functionality, recoverability and sustainability. The scheme of interaction between the software component of multidimensional data analysis and the simulation model, which is used to automate the computational experiments, is proposed.

Keywords: simulation model, regional socio-economic system, viability, multidimensional data cube.

Введение

Исследование проблем развития региональных социально-экономических систем (РСЭС) не теряет своей актуальности. В научном сообществе на протяжении многих десятилетий ведутся попытки разработать универсальные подходы и методы управления таким родом систем, в частности, на основе концепций устойчивого развития [1], [2], [3], бескризисного развития [4], [5], [6] и т.п. В последнее время набирает популярность новое направление в данной предметной области исследований – оценка и управление жизнеспособностью социально-экономических систем.

В открытых источниках можно встретить различные интерпретации понятия «жизнеспособность» (resilience), но к социально-экономическим системам данный термин применяется в относительно небольшом количестве публикаций по сравнению с техническими и биолого-экологическими системами. Ниже приведены примеры научно-исследовательских работ, в которых рассматривается жизнеспособность социально-экономических систем на разных уровнях:

- жизнеспособность государства [7];
- жизнеспособность территориальной социально-экономической системы [8];
- жизнеспособность региона [9];

- жизнеспособность муниципального образования [10];
- жизнеспособность систем «Бизнес-Сообщество-Власть» (БСВ-систем) [11].

Анализ открытых публикаций на данную тематику показывает, что в настоящее время проблема оценки жизнеспособности региональных социально-экономических систем остается актуальной. Это связано с тем, что общепринятого определения жизнеспособности РСЭС не предложено, каждый исследователь стремится привнести в него свою точку зрения. Следовательно, пока не существует универсального метода оценки их жизнеспособности.

Последние несколько лет в Институте информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова ФИЦ КНЦ РАН ведется работа по разработке технологий и средств информационно-аналитической поддержки управления жизнеспособностью региональных социально-экономических систем. В частности, были предложены теоретические основы оценки РСЭС на основе концепции жизнеспособности критических инфраструктур (CIR, critical infrastructure resilience) [12] и методах многомерного анализа данных [13]. В рамках данной статьи предлагается использовать ранее полученные результаты для оценки потенциальных сценариев развития жизнеспособности РСЭС. В частности, совместить разработанный метод комплексной оценки жизнеспособности РСЭС с имитационной моделью подобного рода системы.

Архитектура имитационной модели

В качестве объекта настоящего исследования была взята региональная социально-экономическая система, акцент в которой делается на функционирование и взаимодействие между собой трех основных компонентов: бизнеса, сообществ и государственной власти. Интерес именно к такому виду РСЭС вызван тем, что в последние годы остро встают вопросы о взаимном влиянии каждого из рассматриваемых компонентов на функционирование друг друга. Например, возникает частная задача мониторинга и оценки влияния крупного бизнеса на решения региональных и муниципальных властей и общественной реакции населения (в разбивке по отдельным социальным группам) на их реализацию. Авторы предлагают такие трехкомпонентные региональные системы называть система «Бизнес-Сообщество-Власть» (БСВ-система).

Концептуально БСВ-систему как объект управления можно описать следующим образом [14]:

$$O = \{B, S, RG, \text{Rel}^{BRG}, \text{Rel}^{BS}, \text{Rel}^{RGS}, Pr\}, \quad (1)$$

где

B – бизнес (business);

RG – региональная и муниципальная власть (regional government);

S – сообщество (society);

Rel^{BRG} – взаимодействие между бизнесом и властью;

Rel^{BS} – взаимодействие между бизнесом и сообществом;

Rel^{RGS} – взаимодействие между сообществом и властью;

Pr – свойства системы БСВ, характеризующие ее жизнеспособность.

Примером такой системы может выступать моногород (монопрофильный населенный пункт), т.к. для такого рода объекта исследования характерны тесная взаимосвязь органов муниципальной власти и градообразующего предприятия, которые оказывают сильное воздействие на условия проживания местного сообщества/ местных сообществ [15].

В настоящей работе «Бизнес» представляет собой совокупность хозяйствующих субъектов, осуществляющих коммерческую деятельность на определенной территории с целью получения собственных выгод и преследующих свои частные интересы [11]. Отличительной особенностью данного компонента является его социальная ответственность, которая подразумевает под собой «добровольный вклад бизнеса в развитие общества в социальной, экономической и экологической сферах, не связанный напрямую с основной деятельностью хозяйствующего субъекта и выходящий за рамки определенного законом минимума» [16].

В общем случае под «Сообществом» понимается группа индивидуумов, которые разделяют общие взгляды на определенные процессы мироустройства, либо объединены едиными интересами и/или целями [11]. Структуризация компонента «Сообщество» для БСВ-системы является нетривиальной задачей, т.к. может осуществляться по разным принципам: например, по половозрастному принципу, по сфере интересов или приверженности к определенным политическим взглядам и т.д. На начальном этапе текущего исследования в качестве «Сообщества» будет выделено все население, которое входит в БСВ-систему. При дальнейшем изучении планируется провести разделение «Сообщества» на отдельные группы, отвечающие определенным классификационным признакам. Перспективным направлением решения данной задачи видится применение тематического моделирования для анализа данных искусственных социальных сетей (в частности, VK и Telegram) с целью выделения социальных групп по темам общественного дискурса.

На текущем этапе исследования компонент БСВ-системы «Власть» представлен государственной (региональной) и/или муниципальной властью (в зависимости от масштаба изучаемой БСВ-системы).

Взаимодействие между рассмотренными компонентами БСВ-системы может происходить на различных уровнях: информационном, материальном, финансовом, административном и т.д. На текущем этапе исследования в качестве одного из основополагающих аспектов взаимодействия рассматриваются финансовые и информационные потоки.

Авторы предлагают использовать следующее определение жизнеспособности БСВ- системы: под жизнеспособностью «Бизнес-Сообщество-Власть»-системы понимается способность компонентов системы, подверженных разным опасностям, при возникновении кризисной ситуации выявлять ее предпосылки, адаптироваться к новым условиям, сопротивляться негативным воздействиям кризиса и изменяться с целью достижения и поддержания приемлемого уровня функционирования как каждого компонента в отдельности, так и БСВ-системы в целом [11].

В соответствии с предложенной концептуальной моделью (1) жизнеспособности БСВ-системы в архитектуру разрабатываемой имитационной модели (рис. 1) включены три основных модельных блока «Бизнес» (*Business*), «Сообщество» (*Society*) и «Власть» (*Government*). Как показала практика, разработки модели данных компонентов не достаточно для полного описания поведения БСВ-системы. С этой целью был введен в архитектуру имитационной модели вспомогательный блок «Инфраструктура» (*Infrastructure*), в который вошли элементы модели, отвечающие за имитацию среды функционирования объекта исследования.

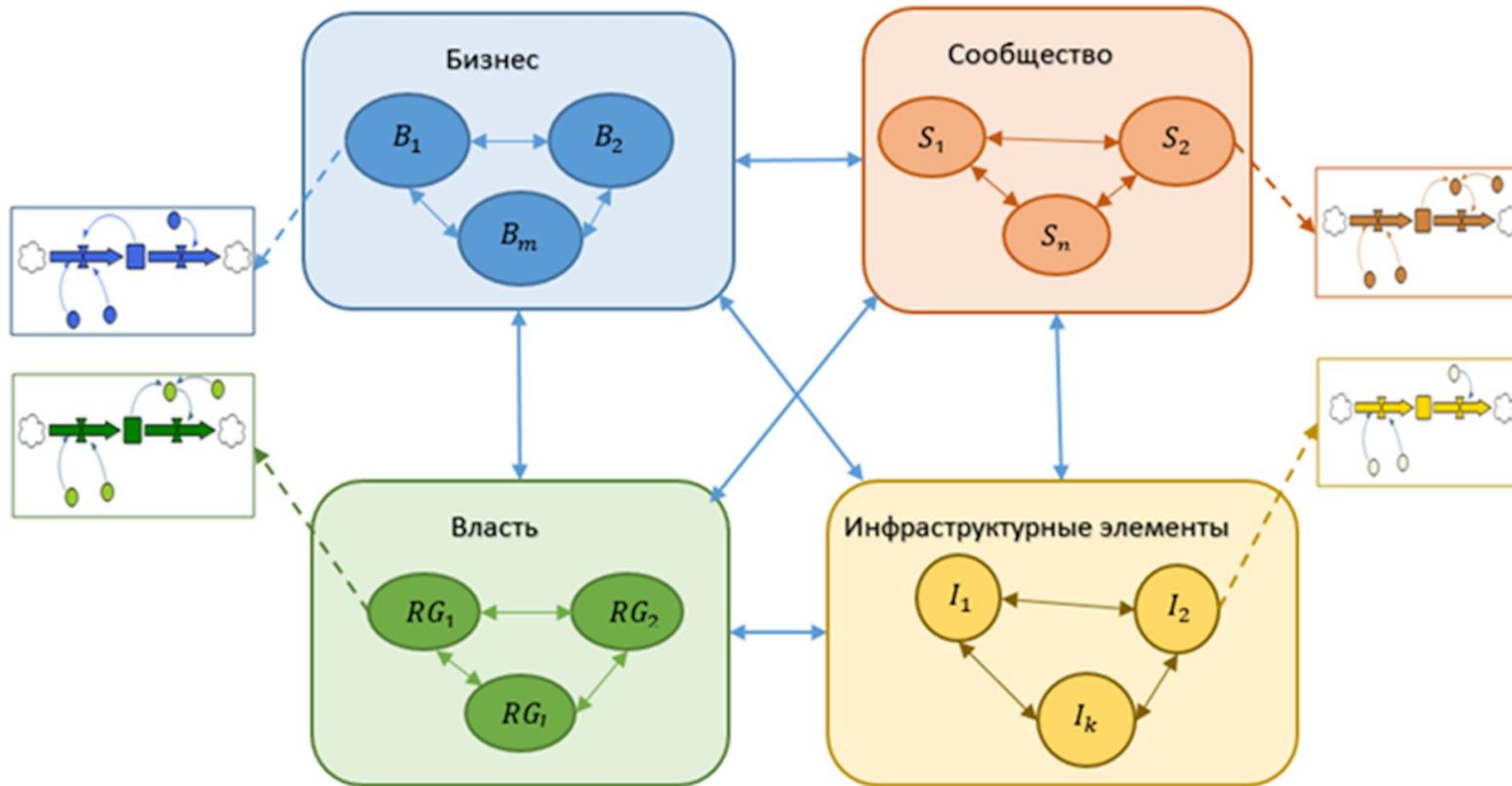


Рисунок 1 - Архитектура имитационной модели жизнеспособности БСВ-системы
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.2.1>

Для реализации предложенной архитектуры используются три метода имитационного моделирования:

- системная динамика – для описания накопительных процессов, протекающих в компонентах БСВ-системы;
- агентное моделирование – для построения иерархии проактивных сущностей, каждая из которых обладает своим собственным поведением;
- дискретно-событийное моделирование – для представления алгоритмов поведения разных элементов модели.

Реализация взаимосвязей между модельными блоками осуществляется посредством передачи значений определенных параметров в каждом компоненте имитационной модели.

Представленная выше архитектура имитационной модели является целевой, но ее практическая реализация требует решения ряда вопросов. Например, как именно представлять в модели компонент «Сообщество», какие критерии использовать для стратификации отдельных социальных групп, какие механизмы закладывать для взаимодействия этих групп и т.д. На текущем этапе исследования данные вопросы еще не получили окончательного ответа. Но в архитектуре зафиксирован целевой образ, к которому будут стремиться авторы исследования.

Имитационная модель жизнеспособности БСВ-системы

Модель жизнеспособности БСВ-системы разрабатывается в среде имитационного моделирования AnyLogic, т.к. она предлагает гибкий функционал по созданию полимодельных комплексов и позволяет «органично совмещать и комбинировать методы имитационного моделирования так, чтобы достоинства одних подходов компенсировали недостатки других» [17].

В соответствии с предложенной выше архитектурой реализация имитационной модели велась по отдельным модельным блокам/подсистемам: «Бизнес», «Сообщество», «Власть», «Инфраструктура», но с рядом определенных ограничений. Это вызвано тем, что на текущем этапе исследования в качестве БСВ-системы рассматривается моногород. Для данного объекта исследования характерно наличие ограниченного числа (в большинстве случаев, одного) предприятий социально-ответственного бизнеса, взаимодействующего с местным сообществом и муниципальной властью. Этот факт нашел отражение в текущей версии имитационной модели.

3.1. Реализация подсистемы «Бизнес»

Блок «Бизнес» имитирует работу производственных предприятий, обеспечивающих жизнеспособность рассматриваемой БСВ-системы. Программно данный блок реализован в виде сети взаимодействующих агентов, каждый из которых представляет деятельность отдельного предприятия. На рисунке 2 приведена структура агента «Предприятие» (*Enterprise*), которая включает в себя такие процессы, как динамику трудового обеспечения компании, выпуск продукции, движение финансовых потоков предприятия.

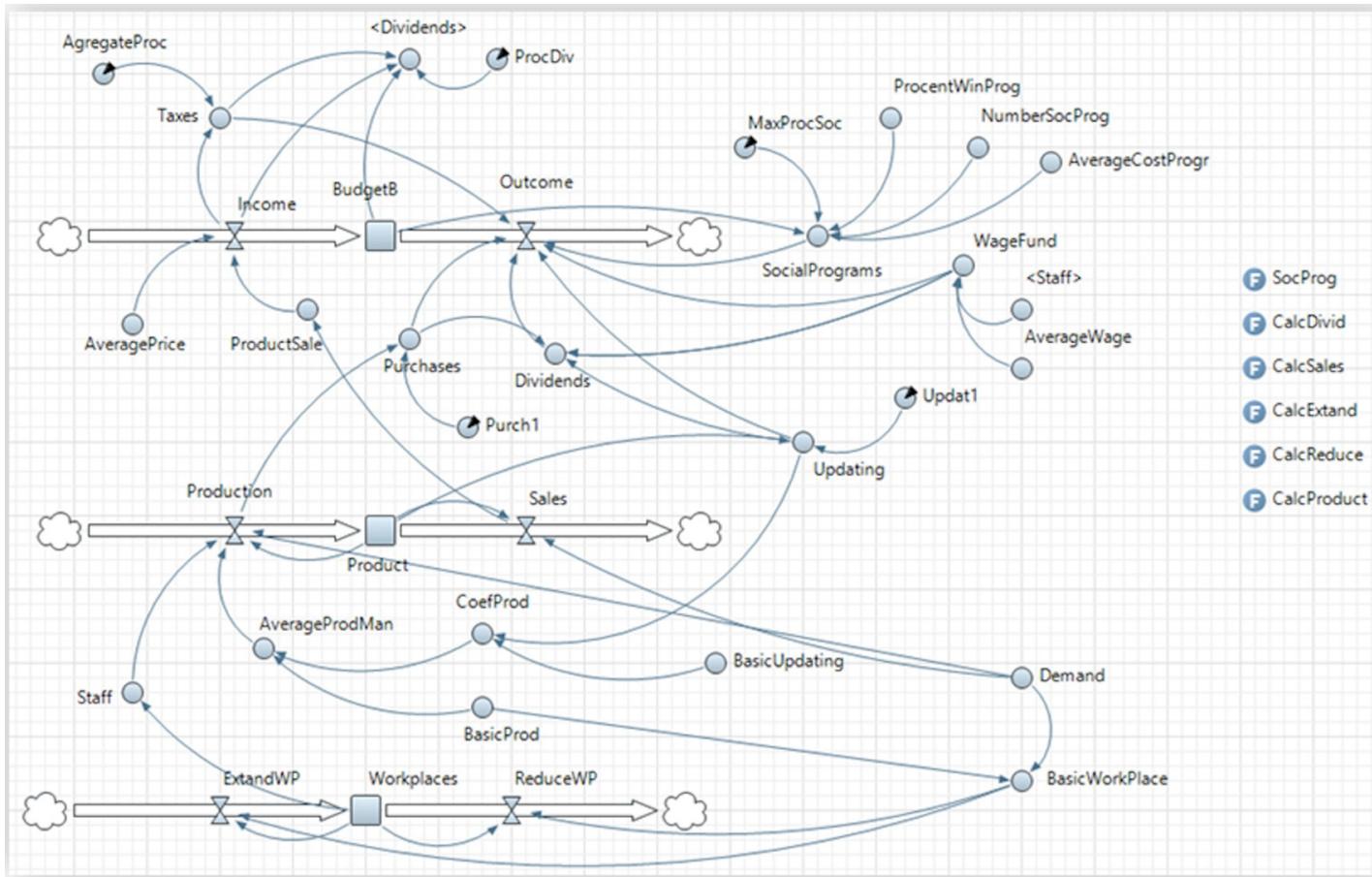


Рисунок 2 - Структура модельного агента «Предприятие»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.2.2>

Согласно определению социально-ответственного бизнеса [16], его отличительной особенностью является «вклад бизнеса в развитие общества в социальной, экономической и экологической сферах...». Для этого в представленной системно-динамической подмодели вводится дополнительная переменная (*SocialPrograms*), которая позволяет определить объем финансирования, выделяемый предприятием на проведение социальных программ. Данная переменная имеет функциональную зависимость от таких параметров как: предельно допустимого процента, выделяемого из бюджета на социальные программы (*MaxProcSoc*), процента поддержанных программ (*ProcentWinProg*), количества заявок на финансирование социальных программ (*NumberSocProg*), средней стоимости социальных программ (*AverageCostProgr*). Количество денежных средств, выделенных на социальные программы, принимает значение соответствующей функции *SocProg*:

```
SocProg(MaxProcSoc,BudgetB,AverageCostProgr,NumberSocProg,ProcentWinProg)
{
double cost=NumProg*AvCost*ProcWin;
if (Bud*Max>cost) return cost;
else return Bud*Max;
}
```

В приведенной модели также введены дополнительные функции, которые позволяют производить расчет других параметров функционирования предприятия: дивидендов (*CalcDivid*), продажи продукции (*CalcSales*), расширения (*CalcExtand*) и сокращения (*CalcReduce*) штата, производства продукции (*CalcProduct*).

3.2. Реализация подсистемы «Сообщество»

В текущей версии разрабатываемой имитационной модели жизнеспособности БСВ-системы блок «Сообщество» представляется в виде одной социальной группы – населения, проживающего на определенной территории (в частности, в моногороде). За основу данной подмодели были взяты ранее разработанные системно-динамические модели демографии арктического города [18], дополненные факторами, определяющими миграционную привлекательность БСВ-системы. В качестве факторов, задающих направление и темпы миграционных потоков, предложено использовать социальную и экономическую привлекательность. Для этого в подмодели «Сообщество» определены специальные переменные *SocialAppeal* и *EconomAppeal*, которые представляют собой агрегированные оценки социальных благ и экономического благополучия БСВ-системы. На рисунке 3 представлена структура подмодели «Сообщество», включающая в себя кроме миграции процессы рождаемости и смертности, а также дополнительные параметры, позволяющие рассчитать темпы указанных потоков (процессов).

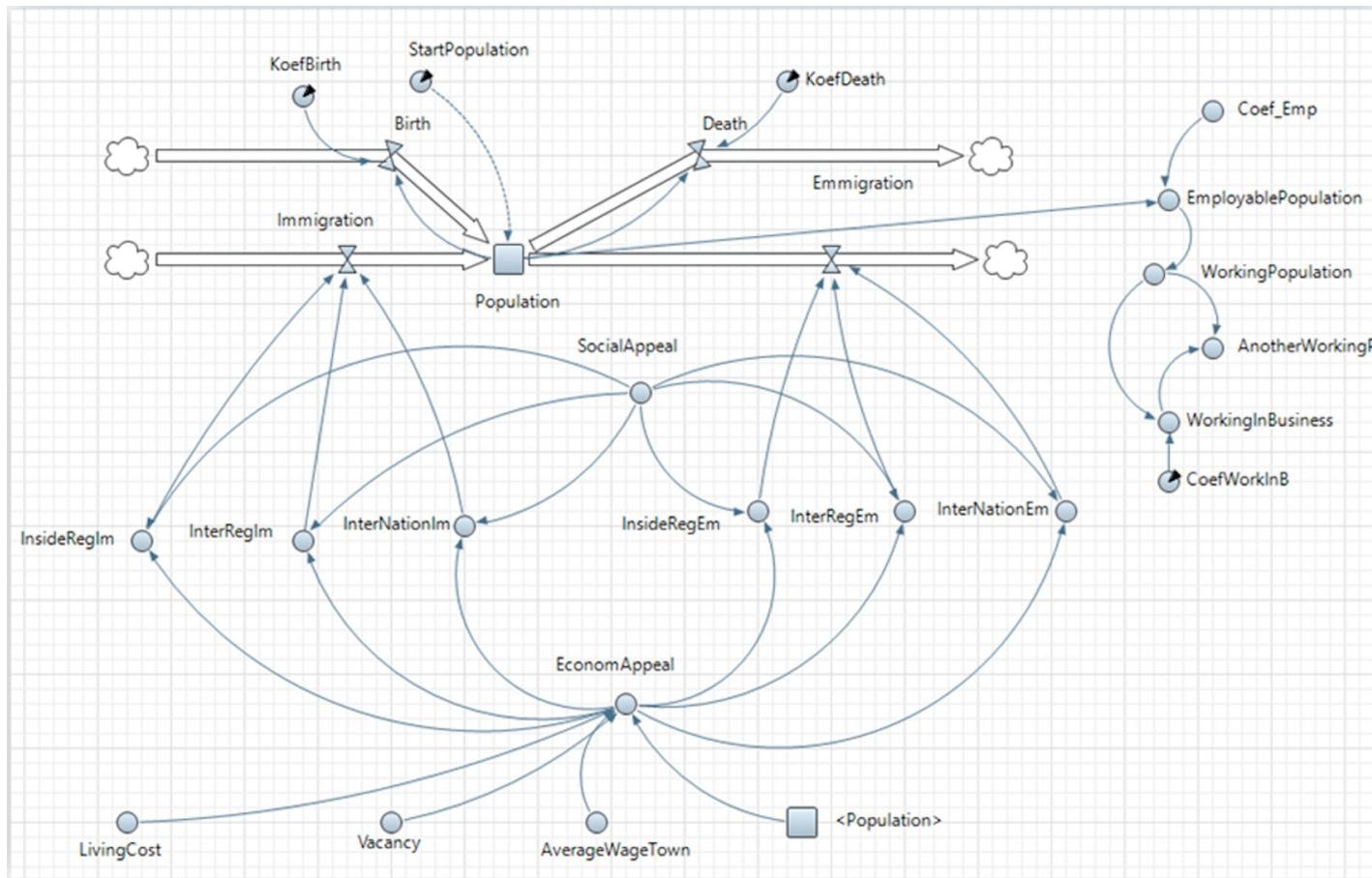


Рисунок 3 - Реализация подсистемы «Сообщество»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.2.3>

Согласно проведенному анализу открытых источников идея оценки миграционной привлекательности региона не нова. В научной среде можно найти достаточное количество работ, в которых описываются основные факторы, влияющие на миграционную заинтересованность конкретного региона:

- экономические показатели [19], [20], [21], например, уровень дохода, ВРП на душу населения, ВВП, роста реальной начисленной зарплаты, уровень зарегистрированной безработицы, уровень экономического развития и др.;
- демографические показатели [22], [23], [24], например, рост численности населения, рост уровня образования населения и числа квалифицированных специалистов, доступность жилья, ожидаемая продолжительность жизни и др.;
- социальные показатели [25]: число организаций среднего профессионального образования, организаций высшего образования и научных организаций, число больничных коек на 10 тысяч человек, число амбулаторно-поликлинических медицинских организаций и др.;
- природно-экологические показатели [26], [27], например, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников, обеспеченность природными ресурсами и др.

В разрабатываемой имитационной модели иммиграционные и эмиграционные процессы рассматриваются на разных уровнях: внутрирегиональном (*InsideRegIm* и *InsideRegEm*), межрегиональном (*InterRegIm* и *InterRegEm*), международном (*InterNationIm* и *InterNationEm*). Как уже было отмечено ранее, данные потоки человеческих ресурсов определяются двумя факторами: социальной и экономической привлекательностью.

В подмодели «Сообщество» из всего населения выделяется трудоспособное население (*EmployablePopulation*), часть которого является работающим (*WorkingPopulation*). В свою очередь, *WorkingPopulation* разделяется на две подгруппы:

1. население, которое осуществляет трудовую деятельность на предприятии (-ях), входящих в состав подсистемы «Бизнес» (*WorkingInBusiness*);
2. население, работающее в других организациях БСВ-системы (*AnotherWorkingP*).

В работе для определения экономической привлекательности объекта исследования (*EconomAppeal*) предлагается использовать следующие параметры: численность населения БСВ-системы (*Population*), количество вакансий (*Vacancy*), размер средней заработной платы (*AverageWageTown*) и размер прожиточного минимума (*LivingCost*). Для настройки степени влияния разных параметров на экономическую привлекательность используются весовые коэффициенты k_1 и k_2 ($k_1, k_2 \in [0, 1]$), а также поправочный коэффициент k_3 ($k_3 \in R$):

$$EconomAppeal = k_1 * (Vacancy/Population) + k_2 * (AverageWageTown / (k_3 * LivingCost)).$$

Данные для расчета *EconomAppeal* передаются в подсистему «Сообщество» из других подсистем разрабатываемой модели, в частности, количество вакансий (*Vacancy*), размер средней заработной платы (*AverageWageTown*) передаются из подсистемы «Бизнес».

3.3. Реализация подсистемы «Власть»

Подсистема «Власть» предназначена для имитации деятельности системы государственного/муниципального управления БСВ-системы, заключающейся в балансировании между интересами бизнеса, запросами местного сообщества и общенациональной политикой. В связи с этим в текущей версии имитационной модели в основном моделируются финансовые потоки, которые служат фундаментом для осуществления деятельности местной власти. При этом основной акцент делается на процедуре бюджетирования подсистемы «Власть» БСВ-системы.

На рисунке 4 приведена общая структура модельного агента «Финансовые потоки» (*Finance*) блока «Власть». Данная подмодель представляет собой системно-динамическую конструкцию, основным элементом которой является бюджет БСВ-системы (в частности, моногорода).

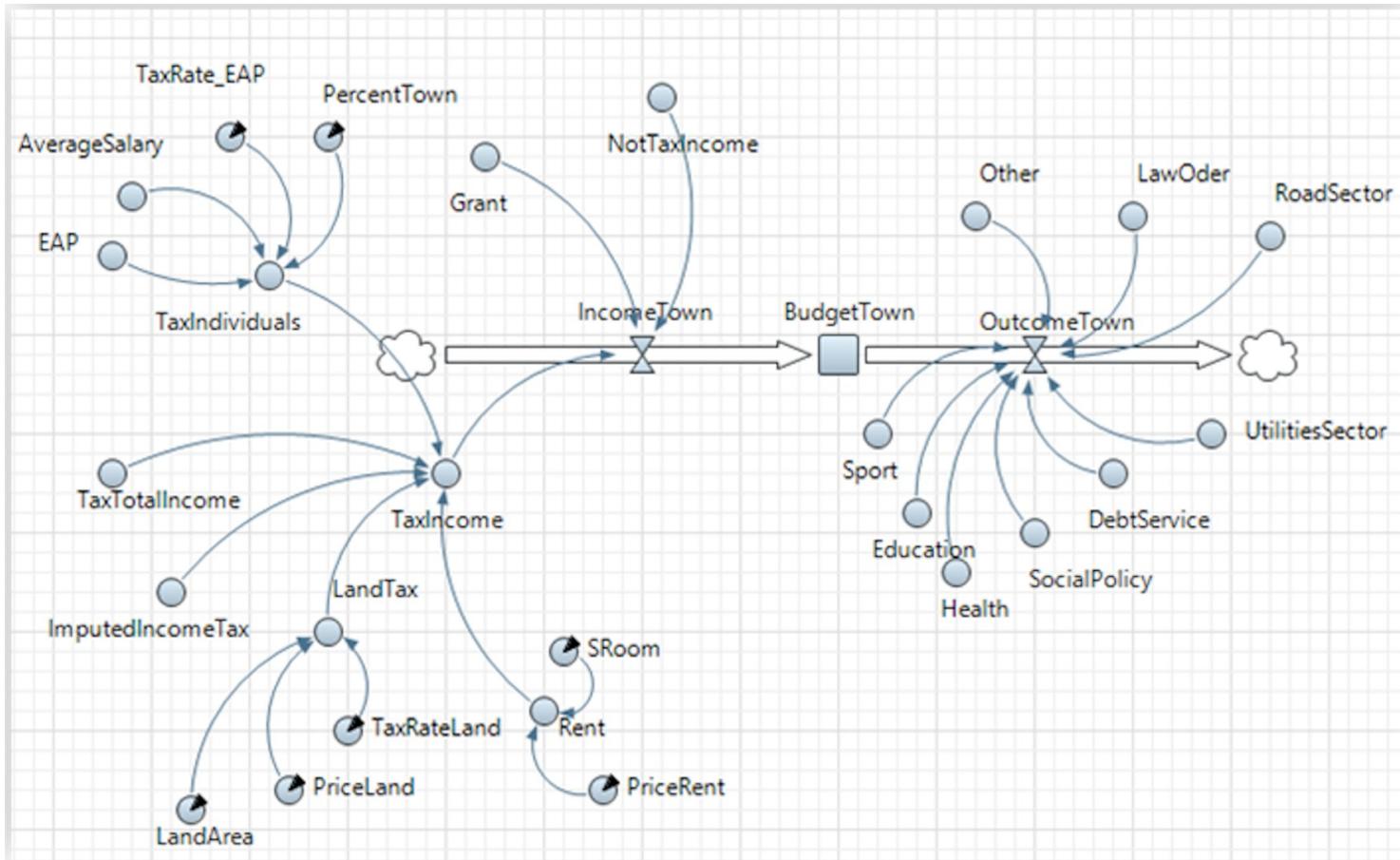


Рисунок 4 - Финансовые потоки подсистемы «Власть»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.2.4>

Бюджет состоит из доходной (*IncomeTown*) и расходной части (*OutcomeTown*). Доходная часть формируется из налоговых (*TaxIncome* и *TaxIndividuals*), неналоговых доходов (*NotTaxIncome*) и различных дотаций (*Grant*). В расходной части учитываются затраты на здравоохранение (*Health*), спортивно-массовые мероприятия (*Sport*), образование (*Education*), правопорядок (*LawOrder*), социальную политику (*SocialPolicy*), дорожное хозяйство и транспорт (*RoadSector*) и другие виды расходов.

Бюджет БСВ-системы рассчитывается с помощью разностного уравнения вида:

$$\text{BudgetTown}(t_k) = \text{BudgetTown}(t_{k-1}) + \text{IncomeTown}(t_{k-1}) - \text{OutcomeTown}(t_{k-1}),$$

при этом

$$\begin{aligned} \text{IncomeTown}(t_{k-1}) &= F_{\text{Inc}}(\text{TaxIncome}(t_{k-1}), \text{NoTaxIncome}(t_{k-1}), \text{Grant}(t_{k-1})); \\ \text{OutcomeTown}(t_{k-1}) &= F_{\text{Outc}}(\text{Health}(t_{k-1}), \text{Sport}(t_{k-1}), \text{Education}(t_{k-1}), \end{aligned}$$

$$\text{SocialPolicy}(t_{k-1}), \text{UtilitiesSector}(t_{k-1}), \text{RoadSector}(t_{k-1}), \text{LawOrder}(t_{k-1}), \text{Other}(t_{k-1})).$$

Часть структурных элементов данной подмодели являются управляющими переменными, значения которых задаются либо пользователем модели, либо берутся в виде временных рядов из официальной статистики. Остальные элементы являются вычисляемыми и функционально зависят от параметров других подмоделей. Например, вычисляемый параметр *SocialPolicy* определяется текущим количеством населения, нормами социального обеспечения, потребностью в социальных мерах поддержки разных категорий населения, а также финансовой возможностью реализовывать программы социальной поддержки.

3.4. Реализация подсистемы «Инфраструктура»

Подмодель «Инфраструктура» является вспомогательной, т.к. содержит в себе в основном модельные элементы, предназначенные для описания условий функционирования БСВ-системы. В частности, совокупность параметров, представленных на рисунке 5, используется для определения социальной и экономической привлекательности региональной социально-экономической системы. Данные агрегированные индикаторы характеризуют заинтересованность в проживании на территории исследуемой системы не только местного населения, но и жителей других регионов страны и иностранных граждан.

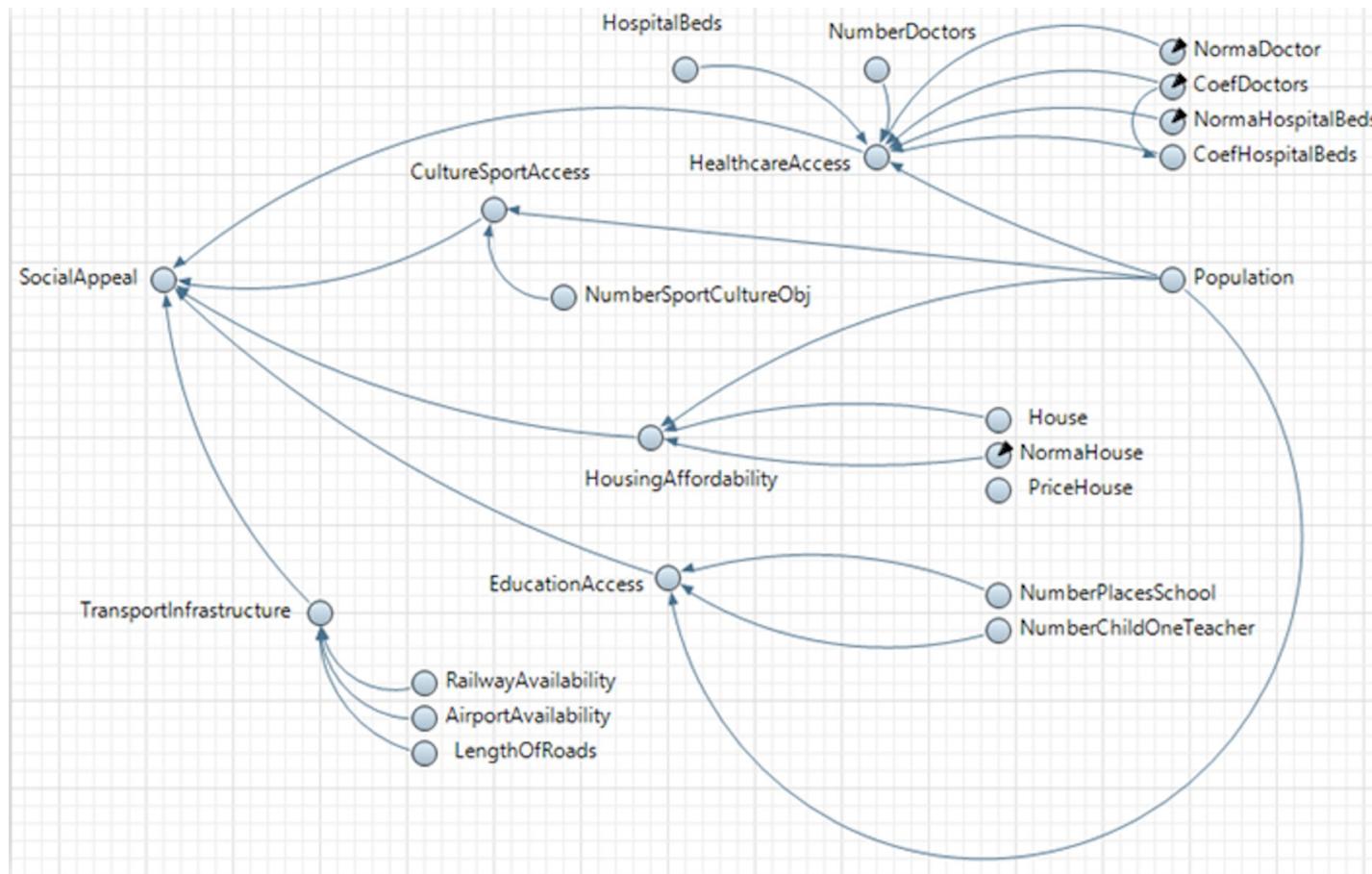


Рисунок 5 - Структура подсистемы «Инфраструктура»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.2.5>

Отметим, что в модели социальная привлекательность БСВ-системы формируется на основе оценок доступности основных социальных благ: здравоохранения (*HealthcareAccess*), жилья (*HousingAffordability*), образования (*EducationAccess*), культурных и спортивных объектов (*CultureSportAccess*), а также степени развития транспортной инфраструктуры (*TransportInfrastructure*).

В качестве примера приведем описание процедуры определения доступности здравоохранения (*HealthcareAccess*), которая в представленной системно-динамической подмодели осуществляется следующим образом:

$$\text{HealthcareAccess} = \text{CoefDoctors} * ((\text{NumberDoctors} * 10000) / (\text{Population} * \text{NormaDoctor})) + \\ + \text{CoefHospitalBeds} * ((\text{HospitalBeds} * 10000) / (\text{Population} * \text{NormaHospitalBeds})).$$

При оценке доступности здравоохранения в БСВ-системе в рассмотрение берутся такие показатели, как:

- количество врачей и медперсонала (*NumberDoctors*),
- количество койка мест (*HospitalBeds*),
- норма количества врачей и медперсонала на 10 000 населения (*NormaDoctor*),
- норма количества койка мест на 10 000 населения (*NormaHospitalBeds*),
- население БСВ-системы (*Population*),
- весовой коэффициент обеспеченности койка местами в оценке качества медицинского обслуживания (*CoefHospitalBeds*):
- весовой коэффициент обеспеченности докторами в оценке качества медицинского обслуживания (*CoefDoctors*).

В статье приведены лишь некоторые аспекты практической реализации имитационной модели жизнеспособности региональной социально-экономической системы. В дальнейшем имитационная модель будет совершенствоваться за счет добавления в нее новых факторов, влияющих на функционирование рассмотренных компонентов БСВ-системы. В частности, планируется добавить декомпозицию «Сообщества» на сетевую структуру социальных групп, разделенных по тематике общественного дискурса, представленного в искусственных социальных сетях. Кроме этого необходимо более детально проработать механизмы воздействия компонента «Власть» на другие подсистемы БСВ-системы.

Основное назначение разрабатываемой имитационной модели заключается в предоставлении прогнозного инструмента для проигрывания различных сценариев развития региональной социально-экономической системы (БСВ-системы) с целью оценки ее жизнеспособности в анализируемой ситуации.

Оценка жизнеспособности на основе имитационной модели

Анализ открытых источников информации показал, что не существует единого мнения как именно оценивать жизнеспособность (*resilience*) региональных социально-экономических систем. Авторы текущей работы предлагают рассматривать жизнеспособность как свойство системы, которое должно быть оценено через призму трех ее составляющих: функциональность, восстанавливаемость и устойчивость (отказоустойчивость). При этом под функциональностью понимается способность системы сохранять свои функции во время своего функционирования; под восстанавливаемостью – способность системы при возникновении кризисных ситуаций восстанавливать свою функциональность до докризисного уровня; под устойчивостью – способность системы сохранять свое работоспособное состояние при воздействии внешнего окружения.

Функциональность БСВ-системы предлагается оценивать посредством индикаторной системы, которая характеризует состояние отдельных элементов системы. Один индикатор отражает лишь отдельную характеристику объекта исследования, но в совокупности система таких индикаторов позволяет получить представление о показателях функционирования системы в заданный момент времени, а значит опосредовано дать количественную оценку ее функциональности. Таким образом, разрабатываемая имитационная модель жизнеспособности БСВ-системы предназначена для получения прогнозных значений различных индикаторов функционирования системы в определенных сценарных условиях.

Для исследования свойства восстанавливаемости БСВ-системы предлагается также использовать имитационную модель. Для этого будет использоваться сценарий возникновения кризисной ситуации в функционировании БСВ-системы. Для каждого кризисного сценария будет проведен ряд вычислительных экспериментов, направленных на определение показателей восстанавливаемости системы. В качестве таких показателей предлагается использовать время восстановления системы T_{Rec} (промежуток времени, за который система восстанавливает свою функциональность до определенного уровня); объем затраченных ресурсов на восстановление (например, выраженных в денежных единицах).

С теоретической точки зрения анализ свойства устойчивости БСВ-системы можно свести к оценке (на основе имитационной модели) степени отклонения функциональности системы от заданного уровня при возникновении разных кризисных ситуаций. В качестве показателей устойчивости можно использовать следующие параметры:

- степень снижения функциональности системы ΔF_c (например, в относительном выражении);
- время достижения максимального спада функциональности системы T_d ;
- процентное соотношение успешно «поглощенных» кризисов к общему количеству исследованных кризисных ситуаций.

С точки зрения практической реализации оценки устойчивости БСВ-системы все еще остается ряд открытых вопросов, связанных с определением и способом задания кризиса в модели, алгоритмизацией поведения каждого компонента БСВ-системы на возникновение кризисной ситуации и т.д. В ходе продолжения исследования планируется получить ответы на поставленные вопросы.

В текущем исследовании для оценки жизнеспособности региональной социально-экономической системы используется многомерный куб данных [12], [13]. Гиперкуб данных (*Hypercube*, *HC*) выступает в роли способа представления различных показателей жизнеспособности системы в некоторой многомерной структуре, которая

позволяет организовать вычислительные процедуры, как над ее отдельными элементами, так и над целыми их группами. Стоит отметить, что применение многомерного куба данных встречается в научно-практической литературе при решении задач исследования жизнеспособности технических систем. Например, в работе [28] описывается структура многомерного куба данных и принцип его использования для создания системы управления жизнеспособностью кибернетических критических инфраструктур в «умном» (smart) городе.

Как отмечалось ранее, одной из ключевых задач выполняемой исследовательской работы является обеспечение возможности прогнозировать разные сценарии развития системы «Бизнес-Сообщество-Власть» и, соответственно, изменение ее жизнеспособности. Для решения этой задачи предлагается использовать имитационное моделирование, которое позволит сформировать несколько многомерных структур данных ($HC(t)$) на всем протяжении жизненного цикла жизнеспособности БСВ-системы (рис. 6). На основе гиперкуба можно произвести расчет жизнеспособности БСВ-системы (R^{BSG}) в определенный момент времени.

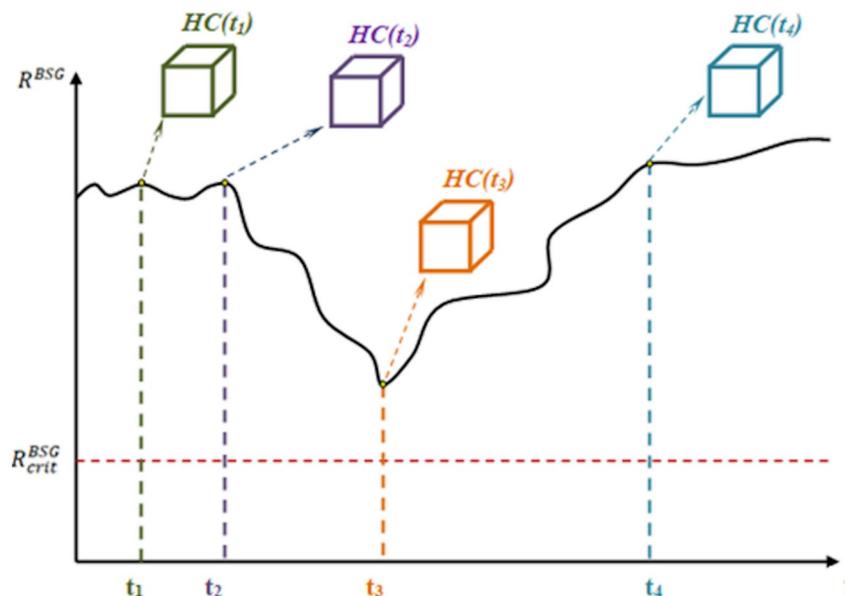


Рисунок 6 - Жизненный цикл жизнеспособности БСВ-системы
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.2.6>

Разрабатываемая имитационная модель дает возможность оценивать жизнеспособность не только всей системы в целом, а также ее отдельных подсистем. То есть в любой момент времени t на основе результатов моделирования можно получить оценку жизнеспособности «Бизнеса» (R^B), «Сообщества» (R^S), «Власти» (R^G). Для каждой из перечисленных подсистем имеется пороговое значение жизнеспособности (критическое значение): R_{crit}^{BSG} – для БСВ-системы, R_{crit}^B – для подсистемы «Бизнес», R_{crit}^S – для подсистемы «Сообщество», R_{crit}^G – для подсистемы «Власть». Достижение критического значения может привести к таким последствиям, как полное разрушение подсистемы, трансформация подсистемы, разбиение подсистемы на новые системы. В текущей работе используется классическое определение системы, т.е. система – это совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которая образует целостность и выполняет определенную функцию. В связи с этим, можно сделать вывод о том, что система прекращает свое существование, когда она не в состоянии выполнять свою функцию.

Для обеспечения гибкости организации вычислительного эксперимента инициализацию управляющих параметров разрабатываемой имитационной модели предлагается технически проводить из внешних источников данных (файлов, БД), которые должны содержать всю необходимую информацию об исследуемом сценарии функционирования БСВ-системы. Внешние источники данных должны формироваться на основе специальным образом подготовленной информации, полученной из многомерного куба данных. При этом обработка данных предполагает участие эксперта, который задает для фильтрации данных интересующие его критерии (в зависимости от решаемой прикладной задачи). Выполнение всех операций над многомерными данными (сбор, предобработка, хранение, представление и др.) выполняет специальным программным инструментом – компонентом многомерного анализа данных. Предполагается, что данный программный компонент будет реализован на основе OLAP-решения [29], доступного на отечественном рынке программного обеспечения.

На рисунке 7 представлена схема интеграции компонента многомерного анализа данных и средства имитационного моделирования, которая предлагается в рамках текущего исследования.

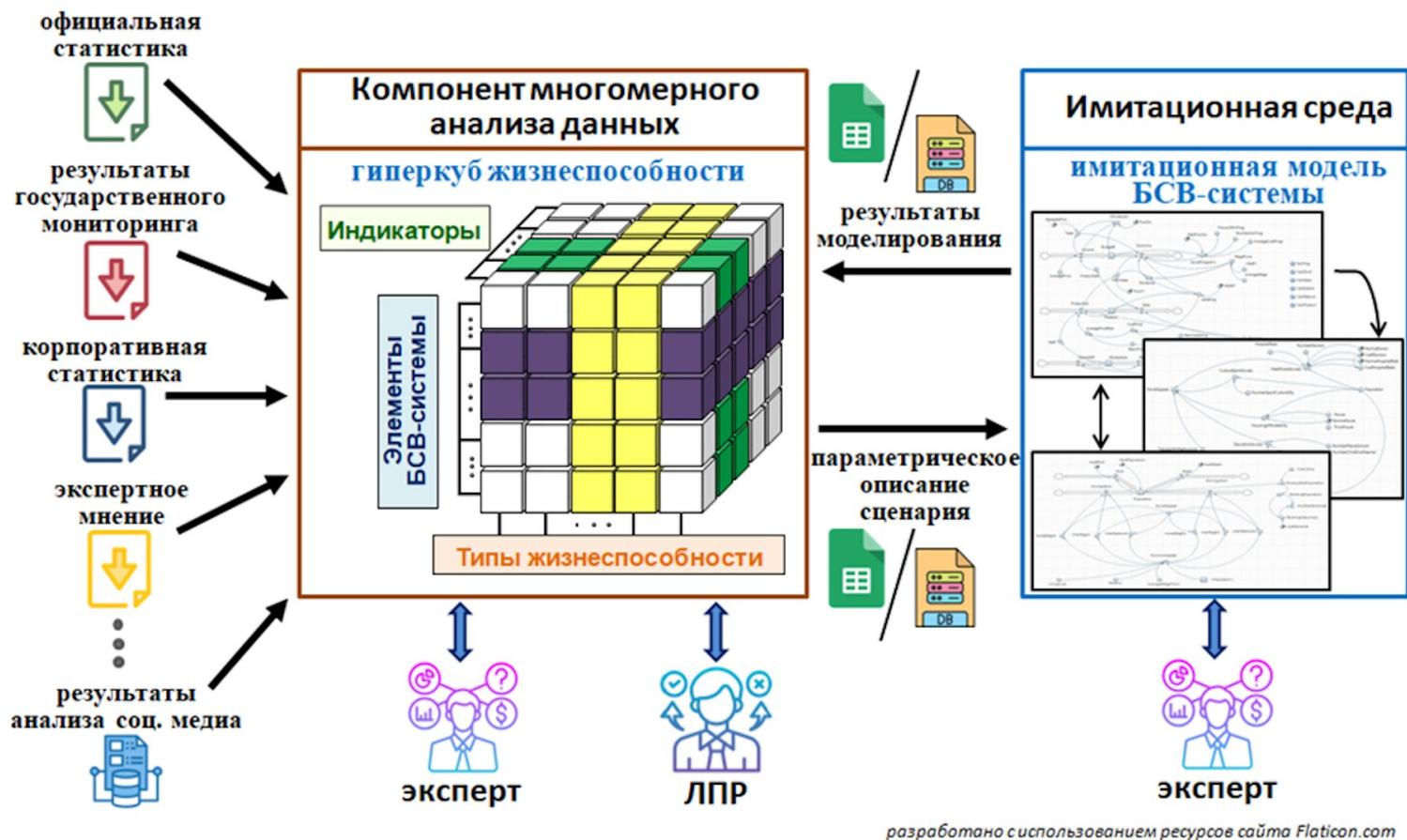


Рисунок 7 - Схема взаимодействия компонента многомерного анализа данных и имитационной модели
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.2.7>

В качестве имитационной среды (рис. 7) используется среда компьютерного моделирования Anylogic. С помощью этого инструментального средства разрабатывается имитационная модель, позволяющая исследовать характер изменения жизнеспособности всей системы и отдельных составляющих ее подсистем в разных сценарных условиях.

Разрабатываемый компонент многомерного анализа данных отвечает за выполнение следующих процедур:

- сбор данных из разнородных источников;
- предварительная обработка и аккумуляция данных в едином хранилище;
- формирование многомерного куба данных по заданным правилам;
- фильтрация данных и формирование срезов куба данных по заданным критериям;
- формирование внешнего структурированного файла для передачи в другие компоненты разрабатываемого программного обеспечения.

Заключение

Вопросы управления социально-экономическими процессами на региональном уровне остаются все еще актуальными. Это вызвано как сложной природой самого объекта управления, так и постоянно меняющимися условиями его функционирования. В настоящем исследовании предлагается применить концепцию жизнеспособности (resilience) для разработки средств информационно-аналитической поддержки управления региональными социально-экономическими системами. В частности, рассматривается процесс разработки имитационной модели жизнеспособности трехкомпонентной социально-экономической системы «Бизнес-Сообщество-Власть» в среде Anylogic. Данную модель предлагают использовать как инструмент для прогнозирования потенциальных сценариев развития БСВ-системы. Результаты имитационного моделирования будут содержать прогнозируемые значения разнородных показателей, которые могут быть использованы для индикаторной оценки жизнеспособности БСВ-системы и ее компонентов в указанных сценарных условиях.

В рамках текущей публикации приводятся промежуточные результаты проводимого исследования, т.к. в ходе практической реализации возникли некоторые трудности, вызванные неоднозначностью представления в модели отдельных факторов, оказывающих воздействие на функционирование объекта исследования. Например, способ реализации административных мер воздействия со стороны власти на местное сообщество и социально-ответственный бизнес. Также остаются открытыми ряд исследовательских вопросов, требующих дополнительных изысканий, в частности:

- определение способа разделения «Сообщества» на социальные группы, затрагивающие интересы бизнеса и власти, и их представление в имитационной модели;
- проработка механизма оперирования в имитационной модели качественными показателями на основе теории нечетких множеств и нечеткого вывода;
- разработка метода синтеза имитационной модели жизнеспособности БСВ-системы на основе прикладной онтологии, технологии концептуальных шаблонов и многомерного куба жизнеспособности.

Финансирование

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ИИММ КНЦ РАН №122022800551-0.

Funding

The work was carried out within the framework of the implementation of the state task of the IIMM KSC RAS № 122022800551-0.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Алферова Т.В. Устойчивое развитие региона: подходы к отбору показателей оценки / Т.В. Алферова // Вестник Пермского университета. Серия «Экономика». — 2020. — Т. 15. — № 4. — С. 494–511. — DOI: 10.17072/1994-9960-2020-4-494-511.
2. Силова Е.С. К проблеме устойчивого развития региона / Е.С. Силова // Вестник Челябинского государственного университета. — 2017. — № 5 (401). — С. 7–14.
3. Гнатюк С.Н. Индикаторы устойчивого развития региона / С.Н. Гнатюк // Политика, экономика и инновации. — 2016. — № 5 (7). — С. 1–5.
4. Быков А.А. Снижение рисков регионального экономического развития на основе анализа волатильности отраслевых показателей / А.А. Быков, С.П. Вертай, А.Е. Зезюлькина // Экономическая наука сегодня. — Минск: БНТУ, 2014. — Вып. 2. — С. 219–234.
5. Яшник А.Н. Долговременное и бескризисное развитие экономики России. Теория и предложения / А.Н. Яшник — Екатеринбург: Ridero, 2017. — 222 с.
6. Мазур Л.В. Оценка региональных кризисных ситуаций: критериальный аспект / Л.В. Мазур // Вестник государственного и муниципального управления. — 2012. — № 2. — С. 109–118.

7. Ахиезер А.С. Жизнеспособность российского общества / А.С. Ахиезер // *Общественные науки и современность*. — 1996. — № 6. — С. 58–66.
8. Алтуфьева Т.Ю. Малый и средний бизнес: поддержка резилентности территорий в условиях шоковых воздействий / Т.Ю. Алтуфьева // *Экономика и бизнес: теория и практика*. — 2022. — № 12-1 (94). — С. 25–30. — DOI: 10.24412/2411-0450-2022-12-1-25-30.
9. Hill E.W. Exploring Regional Economic Resilience / E.W. Hill, H. Wial, H. Wolman. — 2008 — URL: https://www.researchgate.net/publication/286379676_Exploring_Regional_Economic_Resilience?channel=doi&linkId=56684b5508ae9da364b8424b&showFulltext=true (accessed: 30.09.2024). — DOI: 10.13140/RG.2.1.5099.4000.
10. Макаров А.М. Оценка жизнеспособности муниципальных образований / А.М. Макаров, Б.В. Савенков // *Муниципальная экономика*. — 2003. — № 3 (15). — С. 2–6.
11. Халиуллина Д.Н. Концептуальные аспекты исследования жизнеспособности региональных социально-экономических систем / Д.Н. Халиуллина, В.В. Быстров // *Human Progress*. — 2023. — Т. 9. — Вып. 5. — DOI: 10.34709/IM.195.10.EDN RARLIY.
12. Khaliullina D.N. The Conception of Assessing the Resilience of Critical Infrastructures of Regional Socio-economic Systems: Lecture Notes in Networks and Systems / D.N. Khaliullina, V.V. Bystrov. — Cham: Springer, 2023. — Vol. 597. — DOI: 10.1007/978-3-031-21438-7_43.
13. Халиуллина Д.Н. Теоретические основы оценки жизнеспособности региональных социально-экономических систем / Д.Н. Халиуллина, В.В. Быстров // *Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки*. — 2022. — Т. 13. — № 2. — С. 78–92. — DOI: 10.37614/2949-1215.2022.13.2.007.
14. Bystrov V.V. Conceptual Modeling of the Resilience of Regional Socio-Economic Systems “Business-Society-Government”: Lecture Notes in Networks and Systems / V.V. Bystrov, D.N. Khaliullina, S.N. Malygina. — Cham: Springer, 2024. — Vol. 934. — DOI: 10.1007/978-3-031-54813-0_17.
15. Верещагина Т.А. О сущности и классификации моногородов / Т.А. Верещагина, К.А. Трушкина // *Проблемы и перспективы экономики и управления : материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, декабрь 2015 г.)*. — 2015. — URL: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/171/9258/> (дата обращения: 30.09.2024)
16. Авилова М.Г. Корпоративная социальная ответственность в России: тенденции, проблемы, решения / М.Г. Авилова // *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. — 2016. — Т. 34. — С. 1–5.
17. Многоподходное моделирование – инструмент имитационного моделирования AnyLogic // *Anylogic*. — 2024. — URL: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/multimethod-modeling/> (дата обращения: 14.10.2024)
18. Мальгина С.Н. Реализация средствами системы динамического моделирования Powersim модели развития типового города Севера России / С.Н. Мальгина // *Теоретические и прикладные модели информатизации региона*. — Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2000. — С. 53–60.
19. Stillwell J. Internal migration around the world: comparing distance travelled and its frictional effect / J. Stillwell, M. Bell, P. Ueffing [et al.] // *Environment and Planning A: Economy and Space*. — 2016. — № 48 (8). — P. 1657–1675. — DOI: 10.1177/0308518X16643963.
20. Tarasyev A.A. Dynamic Modeling of Labor Migration Impact on the Economic System Development / A.A. Tarasyev, J.B. Jabbar // *IFAC PapersOnLine*. — 2018. — № 51–32. — P. 407–412. — DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.418.
21. Hickey M. Modernisation, Migration, and Mobilisation: Relinking Internal and International Migrations in the ‘Migration and Development Nexus’ / M. Hickey // *Population, Space and Place*. — 2015. — Vol. 22. — Iss. 7. — P. 681–692. — DOI: 10.1002/psp.1952.
22. Yormirzoev M.M. Determinants of regional migration flows from former soviet republics to Russia / M.M. Yormirzoev // *Perm University Herald. Economy*. — 2015. — № 1 (24). — P. 14–19.
23. Dao T.H. Migration and Development: Dissecting the Anatomy of the Mobility Transition / T.H. Dao, F. Docquier, C. Parsons [et al.]. — 2016. — № 10272. — URL: <https://www.iza.org/publications/dp/10272/migration-and-development-dissecting-the-anatomy-of-the-mobility-transition> (accessed: 14.10.2024)
24. Вдовина Э.Л. Оценка миграционной привлекательности депрессивных регионов Средней России / Э.Л. Вдовина, А.В. Круглова // *Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского*. — 2009. — № 18. — С. 105–110.
25. Тиханова Д.В. Оценка миграционной привлекательности Архангельской области на основе сбалансированной системы показателей / Д.В. Тиханова, В.Н. Мякшин // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент»*. — 2021. — Т. 15. — № 2. — С. 43–49.
26. Кельник А.В. Миграционная привлекательность региона: показатели и особенности оценки / А.В. Кельник // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D: Экономические и юридические науки*. — 2008. — № 10. — С. 41–46.
27. Киселев Н.А. Методический подход к оценке миграционной привлекательности региона / Н.А. Киселев // *Дни науки: Сборник материалов научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 3-х частях, Владивосток, 16 апреля – 11 мая 2018 года*. — Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2018. — Т. III. — С. 659–663.
28. Jovanovic A.S. Use of Indicators for Assessing Resilience of Smart Critical Infrastructures / A.S. Jovanovic, N. Schmid, P. Klimek [et al.]. — 2016. — URL: <https://irgc.org/wp-content/uploads/2018/09/Jovanovic-Schmid-Klimek-Choudhary-Use-of-Indicators-for-Assessing-Resilience-of-Smart-Infrastructures.pdf> (accessed: 14.10.2024)
29. Кудрявцев Ю. OLAP-технологии: обзор решаемых задач и исследований / Ю. Кудрявцев // *Бизнес-информатика*. — 2008. — № 1. — С. 66–70.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Alferova T.V. Ustojchivoe razvitie regiona: podhody k otboru pokazatelej otsenki [Sustainable development of the region: approaches to the selection of assessment indicators] / T.V. Alferova // Perm University Bulletin. Economy. — 2020. — Vol. 15. — № 4. — P. 494–511. — DOI: 10.17072/1994-9960-2020-4-494-511. [in Russian]
2. Silova E.S. K probleme ustojchivogo razvitija regiona [On the problem of sustainable development of the region] / E.S. Silova // Bulletin of Chelyabinsk State University. — 2017. — № 5 (401). — P. 7–14. [in Russian]
3. Gnatjuk S.N. Indikatory ustojchivogo razvitija regiona [Indicators of sustainable development of the region] / S.N. Gnatjuk // Policy, Economy and Innovations. — 2016. — № 5 (7). — P. 1–5. [in Russian]
4. Bykov A.A.. Snizhenie riskov regional'nogo ekonomicheskogo razvitija na osnove analiza volatil'nosti otraslevykh pokazatelej [Reducing the risks of regional economic development based on the analysis of the volatility of industry indicators] / A.A. Bykov, S.P. Vertaj, A.E. Zezjul'kina // Economics Today. — Minsk: BNTU, 2014. — Iss. 2. — P. 219–234. [in Russian]
5. Jashnik A.N. Dolgovremennoe i beskrisisnoe razvitie ekonomiki Rossii. Teorija i predlozhenija [Long-term and crisis-free development of the Russian economy. Theory and suggestions] / A.N. Jashnik — Ekaterinburg: Ridero, 2017. — 222 p. [in Russian]
6. Mazur L.V. Otsenka regional'nykh krizisnykh situatsij: kriterial'nyj aspekt [Assessment of regional crisis situations: a criterion aspect] / L.V. Mazur // Journal of Public and Municipal Administration. — 2012. — № 2. — P. 109–118. [in Russian]
7. Ahiezer A.S. Zhiznesposobnost' rossijskogo obshchestva [The viability of Russian society] / A.S. Ahiezer // Social Sciences and Modernity. — 1996. — № 6. — P. 58–66. [in Russian]
8. Altuf'eva T.Ju. Malyj i srednij biznes: podderzhka rezilientnosti territorij v uslovijah shokovykh vozdeystvij [Small and medium-sized businesses: support for territorial resilience in conditions of shock effects] / T.Ju. Altuf'eva // Economics and Business: Theory and Practice. — 2022. — № 12-1 (94). — P. 25–30. — DOI: 10.24412/2411-0450-2022-12-1-25-30. [in Russian]
9. Hill E.W. Exploring Regional Economic Resilience / E.W. Hill, H. Wial, H. Wolman. — 2008 — URL: https://www.researchgate.net/publication/286379676_Exploring_Regional_Economic_Resilience?channel=doi&linkId=56684b5508ae9da364b8424b&showFulltext=true (accessed: 30.09.2024). — DOI: 10.13140/RG.2.1.5099.4000.
10. Makarov A.M. Otsenka zhiznesposobnosti munitsipal'nykh obrazovaniy [Assessment of the resilience of municipalities] / A.M. Makarov, B.V. Savenkov // Municipal Economy. — 2003. — № 3 (15). — P. 2–6. [in Russian]
11. Haliullina D.N. Kontseptual'nye aspekty issledovaniya zhiznesposobnosti regional'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistem [Conceptual aspects of studying of regional socio-economic systems' resilience] / D.N. Haliullina, V.V. Bystrov // Human Progress. — 2023. — Vol. 9. — Iss. 5. — DOI: 10.34709/IM.195.10.EDN RARLIY. [in Russian]
12. Khaliullina D.N. The Conception of Assessing the Resilience of Critical Infrastructures of Regional Socio-economic Systems: Lecture Notes in Networks and Systems / D.N. Khaliullina, V.V. Bystrov. — Cham: Springer, 2023. — Vol. 597. — DOI: 10.1007/978-3-031-21438-7_43.
13. Haliullina D.N. Teoreticheskie osnovy otsenki zhiznesposobnosti regional'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistem [Theoretical foundations to assess the resilience of regional socio-economic systems] / D.N. Haliullina, V.V. Bystrov // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. — 2022. — Vol. 13. — № 2. — P. 78–92. — DOI: 10.37614/2949-1215.2022.13.2.007. [in Russian]
14. Bystrov V.V. Conceptual Modeling of the Resilience of Regional Socio-Economic Systems “Business-Society-Government”: Lecture Notes in Networks and Systems / V.V. Bystrov, D.N. Khaliullina, S.N. Malygina. — Cham: Springer, 2024. — Vol. 934. — DOI: 10.1007/978-3-031-54813-0_17.
15. Vereschagina T.A. O suschnosti i klassifikatsii monogorodov [On the nature and classification of single-industry towns] / T.A. Vereschagina, K.A. Trushkina // Problems and prospects of economics and management : proceedings of the IV International Scientific Conference (St. Petersburg, December 2015). — 2015. — URL: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/171/9258/> (accessed: 30.09.2024) [in Russian]
16. Avilova M.G. Korporativnaja sotsial'naja otvetstvennost' v Rossii: tendentsii, problemy, reshenija [Corporate social responsibility in Russia: trends, problems, solutions] / M.G. Avilova // Scientific and Methodological Electronic Journal "Concept". — 2016. — Vol. 34. — P. 1–5. [in Russian]
17. Mnogopodhodnoe modelirovanie – instrument imitatsionnogo modelirovanija AnyLogic [Multi-approach Modeling – AnyLogic simulation tool] // Anylogic. — 2024. — URL: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/multimethod-modeling/> (accessed: 14.10.2024) [in Russian]
18. Malygina S.N. Realizatsija sredstvami sistemy dinamicheskogo modelirovanija Powersim modeli razvitija tipovogo goroda Severa Rossii [Implementation of a model of development of a typical city in the North of Russia by means of the Powersim dynamic modeling system] / S.N. Malygina // Theoretical and Applied Models of Informatization of the Region. — Apatity: Publishing House of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2000. — P. 53–60. [in Russian]
19. Stillwell J. Internal migration around the world: comparing distance travelled and its frictional effect / J. Stillwell, M. Bell, P. Ueffing [et al.] // Environment and Planning A: Economy and Space. — 2016. — № 48 (8). — P. 1657–1675. — DOI: 10.1177/0308518X16643963.
20. Tarasyev A.A. Dynamic Modeling of Labor Migration Impact on the Economic System Development / A.A. Tarasyev, J.B. Jabbar // IFAC PapersOnLine. — 2018. — № 51–32. — P. 407–412. — DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.418.
21. Hickey M. Modernisation, Migration, and Mobilisation: Relinking Internal and International Migrations in the ‘Migration and Development Nexus’ / M. Hickey // Population, Space and Place. — 2015. — Vol. 22. — Iss. 7. — P. 681–692. — DOI: 10.1002/psp.1952.
22. Yormirzoev M.M. Determinants of regional migration flows from former soviet republics to Russia / M.M. Yormirzoev // Perm University Herald. Economy. — 2015. — № 1 (24). — P. 14–19.

23. Dao T.H. Migration and Development: Dissecting the Anatomy of the Mobility Transition / T.H. Dao, F. Docquier, C. Parsons [et al.]. — 2016. — № 10272. — URL: <https://www.iza.org/publications/dp/10272/migration-and-development-dissecting-the-anatomy-of-the-mobility-transition> (accessed: 14.10.2024)
24. Vdovina E.L. Otsenka migratsionnoj privlekatel'nosti depressivnyh regionov Srednej Rossii [Evaluation of migration attractiveness of depressed regions of central Russia] / E.L. Vdovina, A.V. Kruglova // News of the Penza State Pedagogical University named after V.G. Belinsky. — 2009. — № 18. — P. 105–110. [in Russian]
25. Tihanova D.V. Otsenka migratsionnoj privlekatel'nosti Arhangel'skoj oblasti na osnove sbalansirovannoj sistemy pokazatelej [Evaluation of migration attractiveness of the Arkhangelsk region based on a balanced system of indicators] / D.V. Tihanova, V.N. Mjakshin // Bulletin of SUSU. Series "Economics and Management". — 2021. — Vol. 15. — № 2. — P. 43–49. [in Russian]
26. Kel'nik A.V. Migratsionnaja privlekatel'nost' regiona: pokazateli i osobennosti otsenki [Migration attractiveness of the region: indicators and features of assessment] / A.V. Kel'nik // Bulletin of Polotsk State University. Series D: Economic and Legal Sciences. — 2008. — № 10. — P. 41–46. [in Russian]
27. Kiselev N.A. Metodicheskij podhod k otsenke migratsionnoj privlekatel'nosti regiona [Methodological approach to assessing the migration attractiveness of a region] / N.A. Kiselev // Days of Science: Collection of materials from the Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists. In 3 parts, Vladivostok, April 16 – May 11, 2018. — Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2018. — Vol. III. — P. 659–663. [in Russian]
28. Jovanovic A.S. Use of Indicators for Assessing Resilience of Smart Critical Infrastructures / A.S. Jovanovic, N. Schmid, P. Klimek [et al.]. — 2016. — URL: <https://irgc.org/wp-content/uploads/2018/09/Jovanovic-Schmid-Klimek-Choudhary-Use-of-Indicators-for-Assessing-Resilience-of-Smart-Infrastructures.pdf> (accessed: 14.10.2024)
29. Kudrjartsev Ju. OLAP-tehnologii: obzor reshaemyh zadach i issledovanij [OLAP technologies: a review of the problems being solved and research] / Ju. Kudrjartsev // Business Informatics. — 2008. — № 1. — P. 66–70. [in Russian]