

Моделирование социально-экономических процессов на основе системной динамики в интересах поддержки принятия управленческих решений

Socio-economic processes modeling based on system dynamics for supporting management decisions

Субботенко / Subbotenko O.

Ольга Алексеевна

(motylek20@yandex.ru)

кандидат педагогических наук,
ФГКВОУ ВО «Академия Федеральной службы охраны
Российской Федерации» (Академия ФСО России),
сотрудник.

г. Орел

Баженова / Vazhenova A.

Анастасия Дмитриевна

(nastyabagrntseva@yandex.ru)

Академия ФСО России, сотрудник.

г. Орел

Ноздрачева / Nozdracheva E.

Екатерина Дмитриевна

(katerina_belonozhko@mail.ru)

Академия ФСО России, сотрудник.

г. Орел

Бородкина / Borodkina V.

Виктория Евгеньевна

(borodkina0208@mail.ru)

Академия ФСО России, сотрудник.

г. Орел

Ключевые слова: имитационное моделирование – simulation modeling; системная динамика – system dynamics; социально-экономические процессы – socio-economic processes; привлекательность региона – region attractiveness.

В статье рассматриваются методологические основы применения имитационных моделей для исследования социально-экономических процессов региона. Предложена модель оценки социально-экономической привлекательности региона, реализованная в парадигме системной динамики в среде имитационного моделирования AnyLogic. Выделены направления, факторы и индикативные показатели для оценки социально-экономической привлекательности региона. Представлены потоковая диаграмма и интерфейс модели.

The article discusses the methodological foundations of the use of simulation models to study the socio-economic processes of the region. A model is proposed for assessing the socio-economic attractiveness of the region, implemented in the paradigm of system dynamics in the AnyLogic. The directions, factors and indicative indicators for assessing the socio-economic attractiveness of the region are highlighted. The flow diagram and model interface are presented.

Введение

Одним из приоритетных направлений развития специального информационно-аналитического обеспечения органов государственной власти является формирование распределенной системы ситуационных центров

(СРСЦ), работающих по единому регламенту взаимодействия, и внедрение информационных систем обеспечения деятельности (ИСОД) высших должностных лиц и органов государственной власти.

Ситуационные центры (СЦ) объединяют в себе технологии проведения ситуационных сессий, включающих анализ и обсуждение сложных проблем управления, комплексную обработку информации на основе использования современных методов анализа и моделирующих платформ, средств визуализации информации и т.д. [1, 2].

Неотъемлемой частью таких систем, как инструмента для повышения качества и эффективности принятия высшими должностными лицами (ВДЛ) управленческих решений, является моделирующая платформа, позволяющая отслеживать динамику функционирования и развития региона. В качестве основных элементов моделирующей платформы выступают имитационные модели по различным направлениям деятельности в регионе.

В современных условиях интеллектуализации и цифровизации системы государственного управления, экономики, социальной сферы, бизнеса и общества в целом особо остро перед органами регионального и местного самоуправления стоят управленческие задачи по повышению социально-экономической привлекательности региона. На примере данного объекта моделирования и рассмотрим одну из реализаций имитационной модели моделирующей платформы СЦ главы региона.

Цель настоящей работы заключается в обосновании методологического аппарата и разработке предложений по оценке социально-экономической привлекательности региона с помощью имитационной модели, а также обосновании использования и описания практического примера реализации парадигмы системной динамики для разработки имитационных моделей исследования социально-экономических процессов в составе моделирующей платформы СЦ.

Социально-экономическая привлекательности региона как объект моделирования

Одними из важнейших показателей развития и благосостояния любого территориального образования выступают социальная и экономическая привлекательность, которые включают совокупность факторов, позволяющих определить степень комфорта рассматриваемой территории для проживания населения [3].

Так, доктор экономических наук, член-корреспондент РАН Е. В. Попов в своих исследовательских работах в качестве факторов социальной привлекательности предлагает рассматривать: политические, экономические, финансовые, географические, инфраструктурные и социальные. По его мнению, понятие социальной привлекательности можно соотнести с «качеством жизни» и «уровнями развития жизни и человеческого потенциала» в регионе [4].

В свою очередь, регион, как объект моделирования, представляет собой сложную социально-экономическую систему. Такого класса системы могут обладать как структурной, так и поведенческой сложностью. Их функционирование определяется большим количеством разнородных факторов. Существует множество трактовок понятия социально-экономической системы [5, 6]. В данной работе под социально-экономической системой мы будем понимать сложную вероятностную динамическую систему, охватывающую процессы производства, обмена, распределения и потребления материальных и других благ [7].

Методологической основой моделирования динамики развития региона как сложной социально-экономической системы выступает системный анализ, центральной процедурой которого является разработка и построение имитационной модели региона, учитывающей все взаимосвязи, факторы и показатели функционирования реальной системы, как в структурном, так и поведенческом отношении. Удовлетворенность условиями и качеством жизни является важнейшим фактором социального самочувствия населения [6].

Исходя из вышесказанного, авторами работы предлагается социально-экономическую привлекательность региона (СЭПР) оценивать уровнем удовлетворенности населения данного региона условиями проживания в нем, а именно: наличием комфортного и доступного жилья, дорожно-транспортной обстановкой в регионе, развитостью социальной сферы (наличие образова-

тельных организаций различного уровня, поликлиник, развлекательных и культурно досуговых учреждений, спортивных комплексов и т. д.).

Поскольку СЭПР является многогранным понятием, то его оценку следует проводить с учетом различных аспектов: направления оценки, факторы, индикативные показатели и т.д. (фрагмент показателей представлен в таблице 1).

Предложенные показатели представляют собой разнородные данные, оцениваемые в различных шкалах и единицах измерения. Данный факт затрудняет описание и представление модели СЭПР в аналитической форме: совокупности математических выражений, позволяющих рассчитать уровень удовлетворенности и представить его в числовом эквиваленте.

Системная динамика как основополагающая парадигма имитационного моделирования сложных социально-экономических систем и процессов

Анализ проблем восприятия населением условий и качества жизни в регионах России, количественное и качественное измерение выявленных факторов, определяющих основную настрой населения, также выступают предпосылкой к выбору в качестве инструмента исследования имитационное моделирование.

Следует отметить, что социально-экономические процессы и системы являются непрерывными и представляют собой сложно-организационные слабоструктурированные системы со стохастическими характеристиками. Большая доля знаний о таких системах является экспертной или статистической информацией. Функционирование таких систем затруднительно описать с помощью точных нормативных математических моделей в аналитической форме, поэтому имитационное моделирование выступает в качестве наиболее подходящего метода исследования социально-экономических процессов в регионе.

Использование имитационного моделирования для исследования социально-экономических процессов в составе моделирующей платформы СЦ позволит:

1. Сравнить альтернативные решения проблематики исследования, полученные в результате экспериментов с имитационной моделью, с целью определения наиболее оптимального, удовлетворяющего заданным требованиям исхода. А также выработать определенную стратегию сопровождения сложного социально-экономического процесса.

2. Изучить протекание процесса в режиме как реального времени, так и виртуального, тем самым исследовать процесс в сжатые сроки или же наоборот – развернутый временной интервал.

Главным аспектом при разработке любой имитационной модели является необходимость описания комплекса математических операций, алгоритма

Таблица 1

Показатели оценки социально-экономической привлекательности региона (фрагмент)

Направление	Факторы	Индикативные показатели
Социальная сфера	Демография	Численность населения (тыс. чел.)
		Миграционные потоки (чел.)
		Коэффициенты рождаемости и смертности (число родившихся/умерших на 1 тыс. чел. населения)
	Здравоохранение	Мощность амбулаторно-поликлинических учреждений (на 10 тыс. человек населения, посещений в смену)
		Численность медицинского персонала (на 10 тыс. человек населения, чел.)
	Образование	Число организаций общего образования (единицы)
		Число организаций профессионального образования (ед.)
		Число организаций дополнительного образования (ед.)
	Уровень жизни населения	Денежные доходы в расчете на душу населения (руб. в месяц)
		Денежные расходы в расчете на душу населения (руб. в месяц)
		Величина прожиточного минимума (руб.)
	Жилищные условия и коммунальное хозяйство	Общая площадь жилья, приходящаяся в среднем на одного человека (кв. м)
		Удельный вес семей, получивших жилье в общем числе семей, состоящих на учете на получение жилья (%)
Культурно-досуговая область	Спортивные сооружения (ед.)	
	Библиотечный фонд общедоступных библиотек (экземпляров на 1 тыс. человек населения)	
	Культурно-развлекательные учреждения (ед.)	
Криминогенная обстановка	Число зарегистрированных преступлений (в % к предыдущему году)	
Экономическая сфера	Строительство	Ввод в действие жилых домов (на 1 тыс. человек населения, кв. м общей площади)
		Ввод в действие общеобразовательных организаций (на 10 тыс. детей школьного возраста, учебных мест)
		Ввод в действие амбулаторно-поликлинических организаций (на 100 тыс. человек населения, посещений в смену)
	Транспорт и связь	Эксплуатационная длина транспортного пути
		Пассажирооборот
	Цены	Динамика индексов цен на рынке жилья (первичный и вторичный рынки)
		Динамика индексов потребительских цен (услуги населению, продовольственные товары, непродовольственные товары)
	Рынок труда	Численность безработных, состоящих на учете в государственных учреждениях службы занятости (%)
		Потребность работодателей в работниках, заявленная в государственные учреждения службы занятости (%)
	Финансы	Исполнение консолидированного бюджета (дефицит/профицит)

машинной реализации модели и ее программного кода. Эта задача решается с помощью автоматизации процесса создания кода путем использования специализированных библиотек высокого уровня и визуализирующих графических схем, встроенных в инструментальные средства, реализующие объектно-ориентированный подход в моделировании. Такая реализация имитационной модели является более презентабельной, понятной и прозрачной для пользователя.

В имитационном моделировании при выборе парадигмы моделирования руководствуются уровнем абстракции, на котором функционирует исследуемая система, а также характером протекания процессов и явлений в исследуемом объекте моделирования.

Наибольшее распространение получили следующие парадигмы: системная динамика, динамические системы, дискретно-событийное и агентное моделирование.

Учитывая направленность данной работы, свое внимание в дальнейшем сосредоточим на такой парадигме имитационного моделирования, как системная динамика, при которой «для исследуемой системы или процесса строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие параметры во времени, а затем модель, созданная на основе этих диаграмм, имитируется на компьютере» [8]. Данная парадигма ориентирована на исследование систем и процессов на высоком уровне абстракции, где рассмотрение более детальных элементов процессов не является существенным. Изучение таких систем сводится к описанию динамики ее работы за счет причинно-следственных связей.

Системная динамика как методология была предложена Дж. Форрестером еще 1961 году. Исследователь использовал принцип обратной информационной связи для описания зависимости функционирования сложной системы от структуры причинно-следственных связей. Он считал, что сложные системы, к которым следует отнести производственные, экономические и социальные системы, относятся к классу систем с многоконтурными (дублирующими) нелинейными обратными связями [9]. Изучение таких систем осуществляется через описание динамики ее работы за счет причинно-следственных связей.

Представление математической модели в парадигме системной динамики сводится к определению концептуальной единицы измерения (накопления), циркулирующей в модели, и составления потоковой диаграммы [8]. Потоковая диаграмма, представленная в графической нотации системной динамики, отображает логику и структуру модели в целом виде и включает накопители (фонды) концептуальных единиц, прямые и обратные причинно-следственные связи, оказывающие влияние на интенсивность потока передвижения этих единиц посредством динамических переменных, рассчитываемых в соответствии с логикой оказания влияния появляющихся композиций нелинейных пар

(зависимостей). Расчет значений динамических переменных может выполняться посредством как аналитического выражения, так и вызовом функции. Тело функции может быть представлено в виде: формулы, содержащей математические, временные или функции вероятностных распределений; алгоритма расчета (цикла); в виде табличной функции с линейной, ступенчатой и т. д. интерполяцией. Исходные данные в модель вводятся через параметры-константы, параметры-переменные или же считываются из внешних файлов в наборы данных – датасеты. Таким образом, при разработке математических моделей в парадигме системной динамики следует мыслить не в терминах алгебраических и дифференциальных уравнений, а в терминах графического представления потоковых диаграмм, функциональных зависимостей и влияния переменных посредством положительных или отрицательных связей [8].

В контексте нашей работы парадигма системной динамики является наиболее подходящим методологическим аппаратом для создания имитационных моделей в составе моделирующей платформы СЦВДЛ с целью исследования сложных социально-экономических процессов, протекающих в регионе.

На сегодняшний день существует большое количество инструментальных средств имитационного моделирования. Наиболее популярные из них это AnyLogic, Arena, GPSS, IThink, PowerSim и др.

Для исследования сложных социально-экономических процессов, протекающих в регионе, предлагается использовать отечественное инструментальное средство имитационного моделирования AnyLogic, позволяющее реализовывать комбинированные имитационные модели с использованием различных парадигм.

Сама модель в среде имитационного моделирования AnyLogic представляет собой пользовательское описание проблемы в терминах языка моделирования AnyLogic. Каждая модель реализуется как агент, моделирующий объект (сложные процесс или систему) реального мира, и совокупность экспериментов, проводимых с данной моделью и направленных на решение поставленной задачи моделирования: прогнозирование, оптимизация, анализ чувствительности, или просто варьирование параметров – исследование показателей модели как в режиме реального времени, так и виртуального. AnyLogic позволяет проводить параллельную работу сразу с несколькими моделями, держа их одновременно открытыми в рабочем пространстве и, при необходимости, даже ссылаясь из одной модели на элементы другой.

Модель социально-экономической привлекательности региона

Экспериментальной основой для разработки имитационной модели СЭПР в рамках проводимого исследования выступают данные социологических опросов насе-

ления, а также данные официальных статистических отчетностей о некоторых показателях социально-экономического развития регионов. С учетом предлагаемых для оценки СЭПР в таблице 1 направлений, факторов и выделенных индикативных показателей, а также имеющихся исходных данных, была сформирована упрощенная модель причинно-следственных связей, оказывающих влияние на уровень комфорта проживания в регионе, в терминологии системной динамики (рис. 1).

Концептуальной единицей имитационной модели СЭПР является население региона исследования. Выделено два накопителя (*SatisfiedPeople* и *UnsatisfiedPeople*), два потока – состояние населения (прямой и обратный), 15 динамических переменных (*Comfort*, *RN*, *US*, *SS*, *Engel*, *DensityR*, *DensityP*, *Mobility*, *Comfort1*, *Cl*, *Ed*, *HL*, *G*, *P*, *A*), 15 параметров-переменных (*TotalPopulation*, *PopulationR*, *PopEd*, *Length*, *Area*, *Traffic*, *Playground*, *House*, *Ad_territory*, *PriceHous*, *Bibl*, *Sport*, *Activity*, *MedStaff*, *Hospital*), 5 табличных функций (*tableRN*, *tablePrice*, *tableEd*, *tableHealthy*, *tableCulture*). Причинно-следственные связи представлены в модели в виде стрелок. Выделены 2 цикла (петли обратных связей): усиливающий (положительный) – *B* и компенсирующий (отрицательный) – *R*.

Накопители «Удовлетворенное население» (*SatisfiedPeople*) и «Неудовлетворенное население» (*UnsatisfiedPeople*) содержат статистику удовлетворенности людей уровнем комфорта проживания в рассматриваемом регионе. Контроль комфорта среди населения регулирует динамическая переменная «Показатель комфорта» (*Comfort*), которая рассчитывается как аддитивная свертка из показателей по следующим направлениям: «Показатель удовлетворенности жилищной сферой» (*UtilitiesSector – US*), «Показатель удовлетворенности социальной сферой» (*SocialSector – SS*) и «Показатель удовлетворенности дорожно-транспортной сетью» (*RoadNetwork – RN*) в исследуемом регионе [10]. Так как каждый показатель указывает долю удовлетворенных от общего числа населения и в целом показатели выступают как совместные события, то выражение для расчета «Показателя комфорта» примет следующий вид [11]:

$$Comfort = US + SS + RN - US \cdot SS - US \cdot RN - SS \cdot RN + US \cdot SS \cdot RN. \quad (1)$$

На удовлетворенность населения жилищным сектором в рассматриваемом районе оказывает влияние наличие доступного и комфортного жилья и благоустроенность прилегающих территорий. «Показатель удовлетворенности жилищной сферой» – *US* рассчитывается следующим образом:

$$US = \frac{Comfort1 \cdot (0.3 \cdot Playground + 0.5 \cdot Ad_territory)}{TotalPopulation}, \quad (2)$$

где *Comfort1* – показатель удовлетворенности стоимостью аренды, рассчитывается в соответствии с табличной функцией и зависит от стоимости жилья в регионе;

Playground – количество детских площадок, описываемое массивом типа *HyperArray* и заданное для каждого района региона;

House – количество домов в районе, описываемое массивом типа *HyperArray* и заданное для каждого района региона;

Ad_territory – количество оборудованной прилегающей территории, описываемое массивом типа *HyperArray* и заданное для каждого района региона;

TotalPopulation – численность населения.

Значения коэффициентов в формуле 2 были выделены на основе результатов опроса общественного мнения о важности влияния предложенных факторов на уровень комфортного проживания (данные с сайта базы социологических данных ВЦИОМ – <https://bd.wciom.ru>).

Наличие современной и эффективной транспортной инфраструктуры в районе региона является неотъемлемым условием повышения его конкурентоспособности и качества жизни населения в нем. Удовлетворенность дорожно-транспортной сетью региона предлагается рассматривать через транспортную доступность для населения – возможность воспользоваться объектами транспортной инфраструктуры, которая определяется такими характеристиками как: уровень комфорта, плотность (густота) сети, транспортная подвижность (мобильность) населения. Через плотность сети оценивается транспортная доступность мест работы, учебы, отдыха, медицинских и прочих учреждений социальной сферы, а также общая доступность, которая предполагает определение частоты движения общественного транспорта и доли населения, способного достичь конкретных мест или определенного района города за некоторый норматив времени.

На комфортное передвижение граждан оказывает влияние динамическая переменная «Уровень комфорта» (*Engel*). Она определяется коэффициентом Энгеля (см. формулу 3), позволяющим получить обобщенную оценку обеспеченности региона транспортной сетью. Согласно международным стандартам, коэффициент Энгеля, равный 30–40%, означает зажиточный уровень жизни населения.

$$Engel = \frac{Length}{\sqrt{PopulationR \cdot Area}}, \quad (3)$$

где *PopulationR* – численность населения, описываемое массивом типа *HyperArray* и заданное для каждого района региона значение (в тыс.чел.)

Length – эксплуатационная длина транспортного пути;

Area – площадь территории района.

Также уровень комфорта зависит от плотности

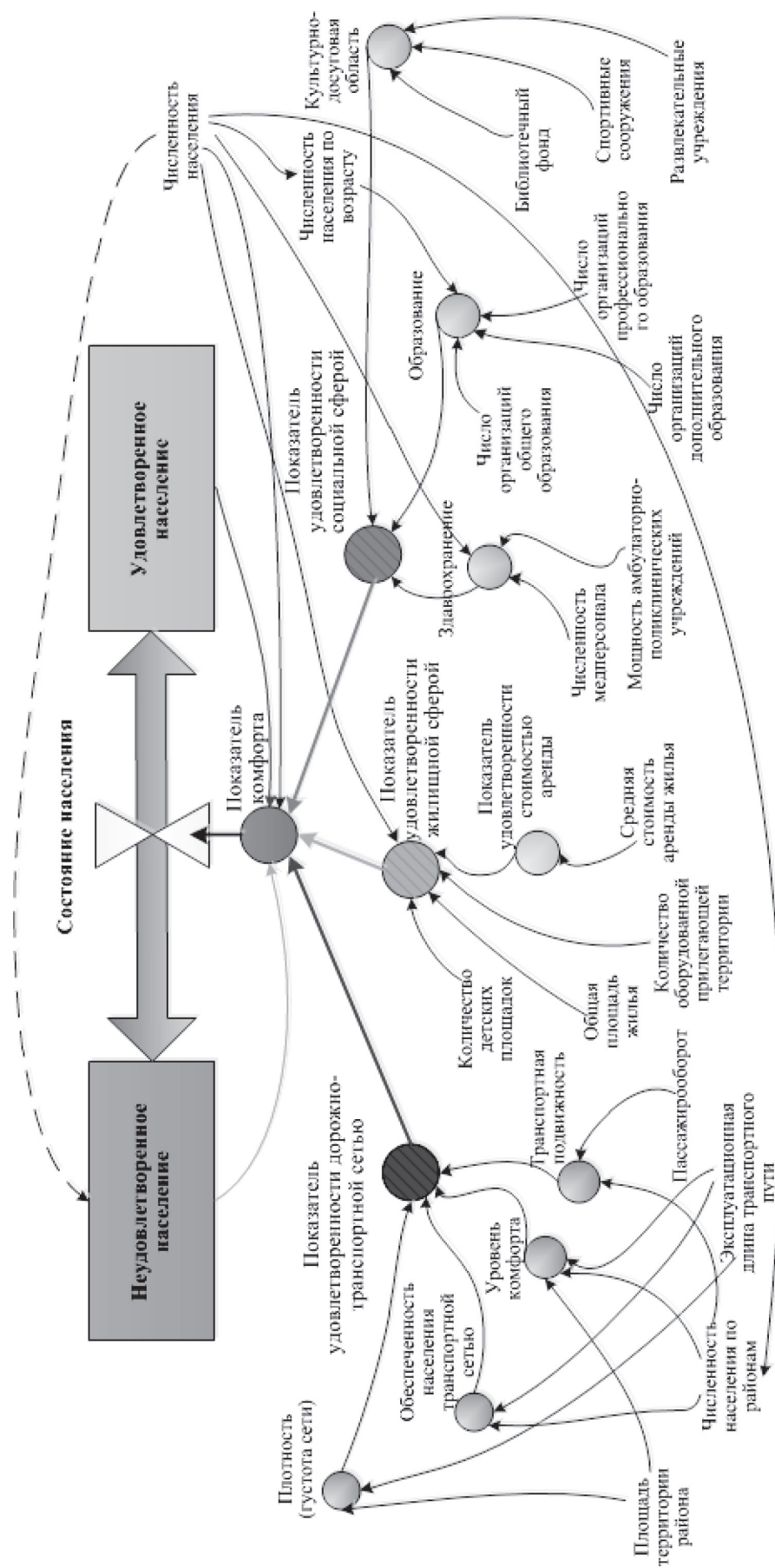


Рис. 1. Поточковая диаграмма социально-экономической привлекательности региона

(густоты) путей сообщения ($DensityR$), которая характеризует обеспеченность региона транспортными путями и показывает, сколько километров транспортных путей приходится на 10 км^2 площади территории:

$$DensityR = \frac{Length}{Area \cdot 10} \quad (4)$$

Плотность (густота) сети, характеризующая транспортную обеспеченность населения территории и показывающая ($DensityP$), сколько километров транспортных путей приходится на 10 000 жителей, определяется по формуле:

$$DensityP = \frac{Length}{PopulationR \cdot 10} \quad (5)$$

Транспортная подвижность (мобильность) населения ($Mobility$) определяется отношением численности населения, перевезенного автотранспортом общественного пользования ($Traffic$) к общей численности населения территории (района) ($PopulationR$):

$$Mobility = \frac{Traffic}{PopulationR} \quad (6)$$

Итоговый «Показатель удовлетворенности дорожно-транспортной сетью» – RN определяется по формуле 7 как табличная функция от четырех частных аргументов, рассчитываемых по формулам 3–6.

$$RN = F_{RN}^{table}(Engel, DensityR, DensityP, Mobility) \quad (7)$$

К числу важнейших проблем функционирования социальной инфраструктуры города следует отнести несбалансированность объектов инфраструктуры, проявляющаяся в их неравномерном развитии и, порой, нерациональном пространственном размещении, что затрудняет использование населением имеющихся ресурсов.

В рассматриваемой модели СЭПР «Показатель удовлетворенности социальной сферой» ($SocialSector - SS$) рассчитывается как аддитивная свертка совместимых показателей (8) по образованию (Ed), здравоохранению (HI) и культурно-досуговой области (Cl), каждый из которых рассчитывается как табличная функция от соответствующих аргументов (9–11).

$$SS = Ed + HI + Cl - Ed \cdot HI - Ed \cdot Cl - HI \cdot Cl + Ed \cdot HI \cdot Cl, \quad (8)$$

$$Ed = F_{Ed}^{table}(G, P, A), \quad (9)$$

где G – число организаций общего образования на душу населения соответствующего возраста, описываемое массивом $PopEd [0]$ типа $HyperArray$;

P – число организаций профессионального образования на душу населения соответствующего возраста, описываемое массивом $PopEd [1]$ типа $HyperArray$;

A – число организаций дополнительного образования на душу населения соответствующего возраста, описываемое массивом $PopEd [2]$ типа $HyperArray$.

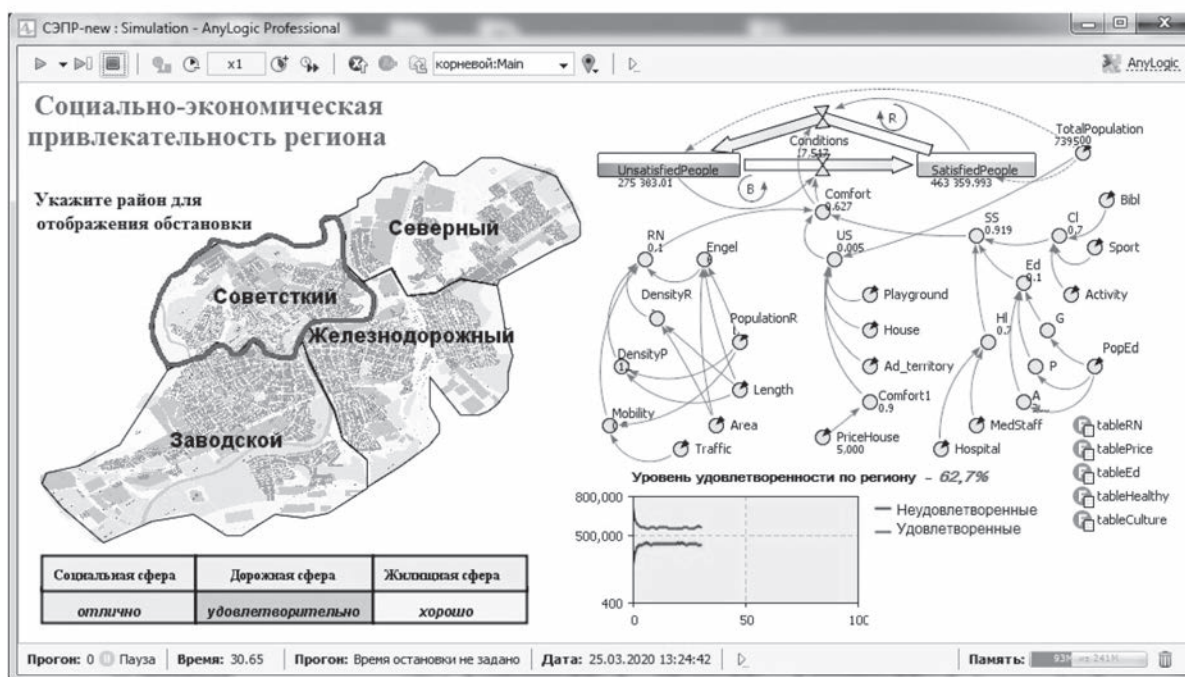


Рис. 2. Интерфейс модели СЭПР – режим имитации (оценки)

$$Hl = F_{Health}^{table}(MedStaff, Hospital), \quad (10)$$

где *MedStaff* – численность медицинского персонала (на 10 тыс. человек населения, чел.);

Hospital – мощность амбулаторно-поликлинических учреждений (на 10 тыс. человек населения, посещений в смену).

$$Cl = F_{Culture}^{table}(Bibl, Sport, Activity), \quad (11)$$

где *Bibl* – библиотечный фонд общедоступных библиотек (экземпляров на 1 тыс. человек населения);

Sport – число спортивных сооружений;

Activity – число культурно-развлекательных учреждений.

Программная реализация модели СЭПР

Программная реализация имитационной модели выполнена в среде *AnyLogic*. В качестве тестового примера рассмотрена оценка социально-экономической привлекательности города Орла. Интерфейс модели представлен на рис. 2.

В качестве исходных данных взяты показатели по региону за 2019 год. Результатом моделирования является наглядное отображение полученной оценки по трем уровням (отлично, хорошо, удовлетворительно) по каждой сфере в отдельности для выбранного района региона с графическим отображением количества удовлетворенных или неудовлетворенных жителей усло-

виями проживания в исследуемом регионе. Так, для тестового региона с населением в 739,5 тыс. человек доля удовлетворенных условиями проживания в нем по результатам моделирования составила 62,7%. Регион является недостаточно привлекательным с точки зрения социально-экономического состояния в нем.

Наглядное отображение результата позволяет увидеть проблемные сферы региона и в режиме виртуального времени поварьировать исходными данными модели (значениями индикативных показателей) для генерации различных альтернатив повышения привлекательности в той или иной сфере, что позволит более обоснованно выработать стратегию дальнейшего развития или улучшения положения в регионе.

Экспериментальная оценка адекватности модели СЭПР

Полученные в ходе имитационного моделирования результаты для тестового региона были проверены на соответствие реальным значениям оценки привлекательности региона по данным социологических опросов населения в 2019 году (данные с сайта базы социологических данных ВЦИОМ – <https://bd.wciom.ru>). Сравнительная оценка экспериментальных данных и данных социологического исследования представлена в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что расхождение (погрешность) по всем направлениям оценки в среднем составляет 1,84% и не превышает 4,1% по частным направлениям.

Для проверки гипотезы об адекватности модели была применена критериальная статистика. Так как результаты моделирования представлены в поряд-

Таблица 2

Оценка результатов моделирования
(ИМ – имитационная модель, СО – социологический опрос)

Районы	Социальная сфера, %		Дорожная сфера, %		Жилищная сфера, %		Степень удовлетворенности, %	
	ИМ	СО	ИМ	СО	ИМ	СО	ИМ	СО
Советский	отл. (85,9)	87,70	удовл. (53,2)	54,50	хор. (63,2)	61,20	68,30	67,80
	Погрешность: 1,8		Погрешность: 1,3		Погрешность: 2,0		Погрешность: 0,5	
Северный	хор. (65,4)	61,30	хор. (66,9)	68,60	отл. (89,5)	86,40	70,20	72,10
	Погрешность: 4,1		Погрешность: 1,7		Погрешность: 3,1		Погрешность: 1,9	
Железнодорожный	хор. (71,9)	68,40	хор. (61,7)	60,75	хор. (71,9)	72,78	65,20	67,25
	Погрешность: 3,5		Погрешность: 0,95		Погрешность: 0,88		Погрешность: 2,05	
Заводской	удовл. (40,9)	41,25	удовл. (46,8)	42,75	хор. (61,4)	61,20	47,10	48,37
	Погрешность: 0,35		Погрешность: 4,05		Погрешность: 0,2		Погрешность: 1,27	
За регион (739,5 тыс.чел.)							62,70	63,88
							Погрешность: 1,18	

ковой шкале, то в качестве статистического критерия определения достоверности совпадений экспериментальных данных и данных социологических опросов использовался критерий однородности χ^2 («хи-квадрат»).

В нашем случае использования порядковой шкалы с тремя уровнями оценки привлекательности региона ($L=3$: «удовлетворительный», «хороший» и «отличный») эталонное значение критерия для уровня значимости $\alpha=0,05$ будет следующим: $\chi_{0,05}^2 = 5,99$. Расчеты проводились с использованием программного продукта Microsoft Excel. В результате $\chi_{эмт}^2 = 4,33$. Таким образом, $\chi_{эмт}^2 < \chi_{кр}^2$. Между полученными результатами разница является незначительной и порог вероятности влияния случайных величин на этот результат менее 0,05%. Следовательно, результаты имитационного моделирования и данные социологических опросов совпадают. Это позволило сделать вывод об адекватности рассматриваемой имитационной модели СЭПР.

Заключение

Использование имитационных моделей как инструментария моделирующей платформы СЦВДЛ позволит вывести на качественно новый уровень процесс генерации альтернатив в интересах поддержки и принятия управленческих решений. В свою очередь, класс имитационных моделей, исследующих социально-экономические процессы, предлагается разрабатывать на основе парадигмы системная динамика с использованием инструментальной среды *AnyLogic*, что продемонстрировано в данной работе.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о востребованности и актуальности применения подхода имитационного моделирования в качестве одного из основных подходов в исследовании сложных систем в интересах поддержки принятия решений.

Литература

1. Ильин, Н. И. Ситуационные центры. Опыт, состояние, тенденции развития / Н.И. Ильин, Е.В. Демидов, Е.В. Новикова. – М.: МедиаПресс, 2011. – 336 с.
2. Сазонов, М. А. Основы построения ситуационных центров / М.А. Сазонов, Е.А. Сазонова. – Орел: Академия ФСО России, 2014. – 107 с.
3. Попов, Е. В. Стратегии повышения социальной привлекательности регионов / Е.В. Попов, И.С. Кац // Региональная экономика: теория и практика. – 2014. – № 21 (348). – С. 2–14.
4. Анимидца, Е. Г. Качество жизни как комплексный показатель социального развития региона / Е.Г. Анимидца, Н.В. Новикова, В.А. Сухих // Журнал экономической теории. – 2009. – № 1. – С. 14–35.
5. Бадлуева, М. П. Новые тенденции функционирования и развития социально-экономической системы региона: развитие креативного потенциала / М.П. Бадлуев, А.Б. Аюрзанаин // Креативная экономика. – 2015. – Т. 9, № 8. – С. 947–962.
6. Морозова, Е. А. Качество жизни населения как индикатор социально-экономического развития моногородов /

Е.А. Морозова // Вестник КемГУ. Серия: Политические, социологические и экономические науки. – 2018. – № 3. – С. 35–41.

7. Мицель, А. А. Математическое и имитационное моделирование экономических процессов / А.А. Мицель. – Томск: Изд-во ТГУ, 2016. – 193 с.

8. Карпов, Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю.Г. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.

9. Лычкина, Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов: Учебное пособие / Н.Н. Лычкина. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 254 с.

10. Анфилатов, В. С. Системный анализ в управлении. Учебное пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 368 с.

11. Шелухин, О. И. Моделирование информационных систем. Учебное пособие для вузов / О.И. Шелухин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 536 с.