





Экспериментальная системно-динамическая модель влияния уровня образования на пространственную дифференциацию доходов населения в регионах России

В. Н. Тимохин¹ , Д. Б. Берг²  , А. Г. Шеломенцев³ 

¹ *Российский университет транспорта,
г. Москва, Россия*

² *Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

³ *Югорский государственный университет,
г. Ханты-Мансийск, Россия*

 bergd@mail.ru

Аннотация. Исследование посвящено проблеме пространственной дифференциации доходов населения регионов России. Целью работы является разработка системно-динамической модели для расчета траекторий параметров пространственной дифференциации доходов по различным сценариям. Гипотеза исследования предполагает наличие региональных особенностей влияния уровня развития человеческого капитала на пространственную дифференциацию доходов населения субъектов Федерации. Математическая постановка задачи опирается на результаты регрессионного анализа влияния временных рядов значений социально-демографических факторов на дифференциацию доходов населения (коэффициент Джини), полученные авторами ранее, и допускает использование практически неограниченного их количества. Численная системно-динамическая модель реализована на базе специализированного приложения PowerSim Studio Express 10. Для расчетов экспериментальных траекторий используются данные Росстата по домохозяйствам регионов России. Основными методами исследования являются динамический анализ временных рядов; экономико-математическое и системно-динамическое моделирование. В результате исследования авторами предложена экспериментальная модель системной динамики, на основе которой были обоснованы сценарии развития территориальной дифференциации доходов населения России в зависимости от изменения во времени значений управляющих параметров. Апробация разработанной модели проводилась для восьми регионов с наиболее достоверной статистической связью между значениями социально-демографических факторов и индекса Джини. Приведенные в работе численные эксперименты использованы для имитации реальных экономических процессов конвергенции и дивергенции, что позволило выявить основные тенденции и особенности территориальной дифференциации доходов населения России в зависимости от местных приоритетов развития профессионального образования. Было показано, что в основном рост уровня образования, как высшего профессионального, так и среднего профессионального, приводит к усилению дифференциации доходов. Теоретическая значимость полученных результатов заключается в углублении представлений о региональной специфике влияния уровня развития человеческого капитала на пространственную дифференциацию доходов населения субъектов Федерации. Практическая значимость результатов исследования заключается в расширении инструментальной поддержки принятия решений при реализации государственной политики в сфере регулирования дифференциации доходов населения на региональном уровне.

Ключевые слова: системная динамика; имитационное моделирование; сценарии развития; экспериментальные траектории; территориальные диспропорции; дифференциация уровня жизни; конвергенция/дивергенция доходов населения.

1. Введение

Достижение устойчивого макроэкономического роста основывается на обеспечении стабильного социально-экономического развития регионов России. При этом существующее природно-географическое, институциональное, экономическое и социально-демографическое разнообразие субъектов Федерации, с одной стороны, обуславливает возникновение территориальных диспропорций регионального развития, с другой — дифференциацию уровня жизни населения. Учет этих явлений является одной из основных задач социально-экономической политики, обеспечивающей баланс темпов экономического роста и динамики процессов социально-экономической дифференциации доходов населения. Для ее реализации необходима разработка модельного инструментария по оценке и прогнозированию комплекса факторов, оказывающих влияние на дифференциацию доходов населения в субъектах Федерации.

Наиболее перспективным методом для решения задачи прогнозирования процессов конвергенции/дивергенции при дифференциации доходов населения является применение системно-динамического подхода, который обладает следующими преимуществами: наглядность, наличие широкого ассортимента визуальных сред для построения и реализации моделей, унификация используемых объектов и доступность для освоения, возможность изменения структуры модели.

Реализация данных преимуществ при решении поставленной задачи заключается в относительной простоте включения в модель новых факторов

и учета дополнительной информации, а также экспериментальной направленности системной динамики, ориентированной на получение комплексных прогнозов и траекторий динамики показателей в условиях сценарной постановки экспериментов, реализация которых иными методами, включая аналитические исследования, невозможна.

Основной задачей разрабатываемой модели системной динамики является получение и анализ экспериментальных траекторий процессов конвергенции и дивергенции пространственной дифференциации доходов населения России с учетом выделенных социальных и демографических факторов.

Актуальность решения обозначенной проблемы обуславливается ее высокой значимостью для населения, поскольку высокая дифференциация доходов населения регионов приводит к росту социальной напряженности, снижению доверия населения к органам власти, снижению эффективности национальной экономики, а также влиянием дифференциации доходов населения на неравенство индивидов в доступе к качественным услугам социальной сферы — образованию, здравоохранению, культуре, являющихся основой социального воспроизводства общества.

Целью исследования является разработка и апробация на фактическом аналитическом материале системно-динамической модели процессов пространственной дифференциации доходов населения регионов России.

Гипотеза исследования заключается в предположении о влиянии уровня развития человеческого капитала на пространственную дифференциацию до-

ходов населения субъектов Федерации. При этом степень и тенденции рассматриваемого влияния имеют региональные особенности, что может быть подтверждено посредством применения методов системной динамики, позволяющих рассчитывать различные сценарии развития исследуемых процессов и явлений в зависимости от изменения значений управляющих параметров во времени.

Объектом исследования являются процессы конвергенции и дивергенции пространственной дифференциации доходов населения страны. При этом конвергенция дифференциации доходов населения нами определяется как адаптационное свойство социально-экономических систем, характеризующееся сходством в поведении различных социальных групп населения, интеграции их мотивации и сближения ценностей. Дивергенция рассматривается как усложнение и разнообразие признаков у групп населения, имеющих общие свойства, в том числе за счет появления новых характеристик и моделей поведения.

2. Обзор литературы

Изучению процессов региональной дифференциации и неравенства доходов населения посвящен широкий круг работ, первые из которых появились в 60-х гг., когда эти проблемы вошли в повестку дня мирового сообщества. При этом теоретико-методологический подход к исследованию этой проблемы традиционно связывается с работами С. Кузнеца в середине XX в., выполненными в традициях классической теории экономического роста.

В последние десятилетия анализ взаимосвязи между дифференциацией доходов населения, с одной стороны, и экономическим ростом — с другой, представлены в работах многих ученых. Их общей особенностью можно считать

макроэкономический характер и количественные методы исследований.

Кирута [1] основной акцент делает на исследовании негативного воздействия неравенства доходов и бедности как на индексы человеческого развития, так и на глобальные индексы конкурентоспособности и инноваций.

Шевяков [2] неравенство доходов рассматривает как фактор экономического и демографического роста.

Вагго [3] на фактическом материале подтвердил гипотезу о влиянии экономического роста на динамику неравенства населения по уровню доходов.

Partridge [4] проводил обратный анализ данной гипотезы — оценку влияния неравенства доходов населения на экономический рост. Этой же проблеме посвящена и работа Alesina & Rodrik [5].

Еще одно важное направление исследований — изучение зависимости дифференциации доходов от макроуровневых социальных детерминант. В данном направлении преобладают методы качественного анализа. В частности, влияние действующей в государстве системы социального обеспечения отражено в ряде публикации.

Аганбегян [6], Римашевская и Кислицына [7] на основании не только статистических, но и данных лонгитюдного обследования домохозяйств показали особенности неравенства доходов населения в странах с переходной экономикой.

Шкаратан [8] изучал потенциал влияния на дифференциацию доходов российской эгалитарной политики.

Denk & Cournède [9] обратили внимание на зависимость дифференциации доходов от степени развития финансовых институтов на примере стран ОЭСР.

Perera-Tallo [10] показал зависимость дифференциации доходов от уровня технологического развития страны и соответствующего ему уровня развития образования.

Burniaux et al. [11] акцентировали внимание на зависимость дифференциации доходов от переговорной силы профсоюзов.

На региональном уровне оценке влияния социально-экономических факторов и условий на дифференциацию доходов населения посвящены работы по демографии Архангельского [12] (в аспекте рождаемости), Антонова [13] (в части прогнозов и семейно-демографической политики), Цапенко [14] (в контексте экономических циклов и международной миграции населения).

Костылева [15] рассмотрела пространственные особенности социально-экономической дифференциации населения.

Овчарова и Попова [16] показали изменения в массовом стандарте потребления российских домохозяйств.

Беляева [17] рассмотрела социальную стратификацию как составляющую социокультурного портрета региона.

В целом все исследования социально-экономической дифференциации населения по применяемому их авторами подходу могут быть разделены на две дополняющие друг друга группы: выравнивания развития и поляризованного развития.

Основные положения концепции выравнивания регионального развития представлены в ряде исследований.

Минакир [18] анализировал проблемы выравнивания регионального развития в аспекте выравнивания пространственной неоднородности развития.

Бахтизин и др. [19] анализировали различные программы и концепции, так или иначе ориентированные на экономическое выравнивание регионов России.

Коломак [20] анализировал динамику межрегиональных различий в России по трем показателям: валовой региональный продукт, денежные доходы населения и бюджетная обеспеченность,

при этом используя оценки о-конвергенции и в-конвергенции.

Kent [21] показал опыт государственного стратегического планирования регионального развития регионов стран ЕС, Австралии, США, Китая, Египта, Южной и Восточной Африки.

Поляризованное развитие также нашло свое отражение в ряде работ.

Лавровский [22] дал оценку территориальной дифференциации в России после 1999 г. в связи с макроэкономическим ростом и ролью трансфертного механизма в ее ослаблении.

Гранберг [23] показал роль, принципы и методы обоснования административно-территориального устройства как инструмента государственного и местного управления, а также направления и возможные результаты его эффективного реформирования.

Малкина [24] обосновала положительное, но различающееся по регионам влияние уровня реальных доходов и реальной заработной платы на показатель внутрирегиональной дифференциации доходов населения.

Зубаревич [25] анализировала характерное для России экономическое неравенство между регионами с двух ракурсов: регионального и центрально-периферийного.

Суспицын [26] исследовал межрегиональные различия в России.

Скуфьина и Баранов [27] сделали обобщающие рекомендации для формирования методической базы межтерриториальных сравнений.

Отдельно следует выделить работы, в которых в качестве основного фактора, влияющего на региональную дифференциацию доходов населения, рассматривается уровень развития человеческого потенциала или человеческого капитала.

Локосов и др. [28] провели межрегиональный анализ человеческого потенциала.

Меркулова [29] провела эмпирический анализ с учетом индекса HDI (Human Development Index) и представила результаты моделирования взаимосвязи неравенства доходов с экономическим ростом с помощью производственно-институциональных функций.

Вопросы, традиционно связанные с дифференциацией доходов населения, рассматриваются в статической постановке и основаны на применении методов регрессионного анализа.

Так, метод корреляционно-регрессионного анализа, применяющийся с целью исследования наличия, вида и степени зависимости между различными факторами и региональной дифференциацией населения по уровню доходов, используется в следующих работах:

– Малкина [24] — влияние уровня доходов и заработной платы на показатель внутрирегиональной дифференциации доходов населения;

– Шевяков [2] — зависимость между снижением неравенства и повышением темпов экономического роста, а также темпов роста объема инвестиций;

– Кирута [1] — оценка негативного воздействия неравенства доходов и бедности на индексы человеческого развития, показатели качества школьного образования, демографические показатели, глобальные индексы конкурентоспособности и инноваций;

– Овчарова и Попова [16] — динамика уровня жизни российского населения в постсоветский период по показателям доходов, расходов и потребления домохозяйств);

– Овчарова и др. [30] — регрессионный анализ таких детерминант неравенства как детская нагрузка, присутствие в домохозяйстве пожилых и др., позволивший оценить вклад признака в дисперсию душевых расходов;

– Гершман [31] — анализ панельных данных;

– Григорьев и др. [32] — пространственное кросс-секционное моделирование;

– Niea & Xingb [33] — зависимость неравенства доходов от уровня образования и семейного положения;

– Altunbas & Thorntonab [34] — построение квантильной регрессии;

– Liu et. al. [35] — использование моделей авторегрессии и распределенного лага и квантильной регрессии.

Совместно с построением регрессионных моделей региональной дифференциации населения по уровню доходов часто используется кластерный анализ, или численная таксономия, которая позволяет, во-первых, типологизировать объекты исследования так, чтобы сходные элементы находились на наименьшем расстоянии друг от друга, во-вторых, определить естественное расслоение исходных наблюдений на четко выраженные кластеры, лежащие друг от друга на некотором расстоянии. Примерами таких работ являются исследования Афоной и др. [36] в части оценки качества жизни, Войнова [37] в части финансового поведения домохозяйств, Ибрагимов и Франц [38] в части психосоциального самочувствия населения.

Исследования, использующие методы имитационного моделирования дифференциации доходов населения, и в частности системно-динамический подход, оказываются крайне редкими:

– Sterman [39] — основное внимание уделено роли контуров обратной связи;

– Longbin [40] — влияние энергетического рынка на доходы домохозяйств;

– Giampietro et al. [41] — демографические аспекты социальной структуры населения;

– Fabrizi & Trivisano [42] — специфика использования коэффициента Джини для анализа неравенства на малых территориях.

Представленные исследования динамики дифференциации доходов не рассматривают региональный аспект и не реализуют преимуществ использования выявленных факторных зависимостей.

В то же время имитационное моделирование методом системной динамики является одним из эффективных методов исследования закономерностей социально-экономических процессов.

Системная динамика Дж. Форрестера изначально задумывалась как доступная методология для компьютерного моделирования. Успех его работ (Forrester [43]) по динамике социально-экономических систем определил тенденцию в использовании данного подхода специалистами различных областей: от глобальных экономических процессов (Meadows et al. [44]); до микроэкономических систем (Duggan [45]); проблем индивидуального потребления в домохозяйствах (Richardson [46]); городского хозяйства (Diemer & Nedelciu [47]) и др.

Современные исследования, связанные с использованием системной динамики, обнаруживают высокий потенциал в получении разнообразных результатов, относящихся к прогнозированию комплексного взаимодействия социально-экономических объектов. Примерами наиболее значимых современных работ в области системной динамики социально-экономических систем, на наш взгляд, являются ранее упомянутая работа Sterman [39], обобщающая исследования динамики социально-экономических систем в мировом масштабе работа Bala et al. [48], а также узкоспециализированная работа Куренного и Голембиовского [49], посвященная анализу дефолтов.

Проведенный обзор состояния изученности предметной области показывает, что проблема дифференциации доходов населения в настоящее время находится в фокусе внимания научного сообщества.

При достаточно высокой степени изученности процессов дифференциации населения по уровню доходов населения регионов России, еще остаются недостаточно изученными вопросы эмпирической оценки влияния социально-экономических факторов на региональное распределение доходов населения. Традиционно исследуется взаимосвязь неравенства доходов и экономического роста.

В то же время значительный интерес проявляется к влиянию социальных детерминант и трансфертной политики на уровень дифференциации доходов. При значительной протяженности территории таких стран, как Россия, вследствие неоднородности климата, распределения ресурсов, населения и других факторов, наблюдается существенная неоднородность в дифференциации доходов населения. Она прослеживается как на региональном, так и внутрорегиональном уровнях.

Для исследования всех указанных аспектов проблемы дифференциации доходов широко используются методы математической статистики, в первую очередь регрессионные модели. Методы имитационного моделирования, в частности системной динамики, применяются недостаточно широко. Потенциал этого метода в исследовании проблемы дифференциации доходов населения раскрыт далеко не полностью.

3. Методология исследования

3.1. Методика исследования

Методика настоящего исследования включает выполнение следующих основных этапов:

1) динамический анализ временных рядов, характеризующих распределение доходов домохозяйств в регионах России за продолжительный период;

2) статистическая оценка влияния социально-демографических факторов на дифференциацию доходов населения;

3) математическая постановка задачи расчета траекторий показателей дифференциации доходов населения регионов России под воздействием сценарно заданных траекторий факторов;

4) построение системно-динамической модели, реализующей математическую постановку задачи исследования;

5) апробация разработанной модели по расчету экспериментальных траекторий дифференциации доходов населения под воздействием сценарно заданных изменений факторов.

Разработанная модель основывается на результатах анализа качественных и количественных данных по домохозяйствам регионов России, содержащихся в базе данных Росстата, а также формализации причинно-следственных связей между используемыми в данном исследовании управляющими и управляемыми параметрами на основе абстрактно-логических и эконометрических методов.

3.2. Математическая постановка задачи

Математическая постановка задачи опирается, с одной стороны, на обобщение результатов отечественных и зарубежных исследований, представленных выше, а с другой — на наличие достоверной информации в системе официальной статистики. Статистические данные Росстата (издания «Регионы России. Социально-экономические показатели», «Социальное положение и уровень жизни населения России», «Демографический ежегодник России», «Естественное движение населения Российской Федерации»), а также данные из Центральной базы статистических данных (неравенство и бедность) и Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) были проанализированы ранее в работе Гончаровой [50] на предмет выявления социально-

демографических особенностей региональной дифференциации доходов населения России.

Шеломенцев и Гончарова [51] ранее выполнили регрессионный анализ взаимосвязей временных рядов, который позволил установить факт влияния социально-демографических факторов (описывающихся показателями, характеризующими численность городского и сельского населения, численность и половозрастную структуру населения младше трудоспособного, трудоспособного, а также старше трудоспособного возраста, а также занятость населения, уровень его образования и миграцию) на дифференциацию доходов населения (коэффициент Джини), а также их значимость и характер.

Объединение результатов обеих работ в единую структуру системно-динамической модели открывает возможность их совместного использования в постановке модельных экспериментов, а применение сценарного анализа и имитационного моделирования позволяет получить комплексные прогнозы и изучить траектории показателей дифференциации доходов в зависимости от динамики параметров, характеризующих социально-демографические факторы.

Для целей настоящей работы на основании результатов указанных исследований был выделен следующий круг анализируемых социально-демографических факторов: половозрастная структура населения, численность городского и сельского населения, миграция и уровень образования.

Введем следующие обозначения для факторов модели x_i ($i = 1, 13$):

x_1 — удельный вес численности занятого населения с высшим профессиональным образованием;

x_2 — удельный вес численности занятого населения со средним профессиональным образованием;

x_3 — удельный вес численности занятого населения со средним общим образованием;

x_4 — удельный вес численности занятого населения с основным общим образованием;

x_5 — удельный вес численности занятого населения без основного общего образования;

x_6 — удельный вес численности городского населения;

x_7 — удельный вес численности сельского населения;

x_8 — миграционный прирост;

x_9 — удельный вес численности женщин в общей численности населения трудоспособного возраста;

x_{10} — удельный вес численности мужчин в общей численности населения трудоспособного возраста;

x_{11} — удельный вес численности населения до трудоспособного возраста;

x_{12} — удельный вес численности населения трудоспособного возраста;

x_{13} — удельный вес численности населения старше трудоспособного возраста.

Поскольку исходные зависимости определены для отдельных субъектов РФ, изменим размерность коэффициентов следующим образом: введем дополнительную размерность j — для отдельных субъекта РФ $j \in [1, 89]$, для групп субъектов по выбору исследователя либо РФ в целом $j \in [90, \dots]$. Дополнительно отразим явную зависимость от времени t , поскольку конечной целью является построение траекторий. В этом случае рассматриваемые факторы будут обозначаться в модели как $x_{ij} = x_{ij}(t)$.

Траектория результирующей величины (индекса Джини), рассчитанная по модели на основании выявленных зависимостей, с учетом указанных выше дополнительных размерностей, строится по значениям временного ряда, обозначенного как $y_{ij} = y_{ij}(t)$.

Включение дополнительных факторов I в модель отразится только на подготовке исходных данных, поскольку индексирование факторов будет осуществляться в интервале $i \in [1, 13] \cup I$, что не повлияет на структуру, а следовательно, и на работоспособность имитационной модели.

С учетом предложенных обозначений, полученные ранее [50, 51] зависимости приобретают вид зависящих от времени траекторий:

$$y_{ij}(t) = \sum_i a_{ij} x_{ij}(t) + a_{0j}, \quad (1)$$

где $t = 0$ — значения параметров базисного периода расчета, a_{ij} — коэффициенты уравнения регрессии при соответствующих факторах, a_{0j} — соответствующие константы.

3.3. Экспериментальная системно-динамическая модель

Рассмотрим постановку задачи построения траекторий дифференциации доходов населения с использованием имитационного подхода на базе описанной выше математической постановки задачи. Информационной базой для модели является официальная отчетность субъектов РФ в разрезе рассмотренных выше факторов. Отметим, что никаких технологических ограничений по составу факторов и зависимостей не существует, поэтому в ходе развития постановки задачи структура модели может предусмотреть учет дополнительных зависимостей и включение новых факторов и их динамики.

Имитационное моделирование является современным производительным инструментом анализа поведения систем, в том числе и социально-экономических. Благодаря наличию большого числа разнообразных специализированных приложений, поддерживающих данную методологию, разработка имитационных

моделей, проведение экспериментов и обобщение их результатов становятся весьма доступными для исследователей, не имеющих возможности программно реализовывать свои исследования.

Современные среды для моделирования, такие как PowerSim Studio, обладают визуальным интерфейсом, позволяющим строить модели и планировать экспериментальные исследования без навыков программирования, а интеграция ПО с источниками данных — от табличных процессоров типа MS Excel до интерфейсов баз данных — обеспечивают возможность качественной подготовки экспериментальных данных. Применение имитационного моделирования позволяет получить новые выводы о траекториях, возникающих вследствие комплексного воздействия факторов на изучаемый объект.

Компьютерная реализация модели налагает дополнительные ограничения, связанные с ПО и требующие уточнения математической постановки задачи. Для построения имитационной модели выбрано специализированное приложение PowerSim Studio Express 10, поскольку оно распространяется свободно на условиях подписки и использования в образовательных и исследовательских целях (официальный сайт www.powersim.com). Кроме того, метод системной динамики реализован в приложении в виде технологии имитационного моделирования с постоянным дискретом времени, что полностью соответствует условиям решения поставленной задачи.

Немаловажным преимуществом выбранного ПО является также и поддержка импорта данных из различных источников, включая базы данных через встроенный ODBC драйвер, что позволяет в перспективе расширить постановку задачи за счет включения дополнительных факторов.

В текущей постановке задачи в качестве источника подготовленных дан-

ных использовались электронные таблицы в формате MS Excel. Двумерный характер представления информации в электронных таблицах потребовал преобразования траекторий факторов в вектора вида:

$$x_{ij}(t) = [x_j(t)]_i. \tag{2}$$

Исходные данные для расчета структурных показателей $x_{ij}(t), \forall j$, представляют собой абсолютные величины $u_{ij}(t)$, связанные соотношениями:

$$x_{ij}(t) = \frac{u_{ij}(t)}{p_j(t)}, \tag{3}$$

$$i \in [[1; 5] \cup [6; 7] \cup [11; 13]]$$

$$x_{ij}(t) = u_{ij}(t) - u_{ij}(t-1), \quad i = 8, \tag{4}$$

$$x_{ij}(t) = \frac{u_{ij}(t)}{p_{ij}(t)} x_{i',i}, \tag{5}$$

$$i \in [9; 10], \quad i' = 12$$

Структура модели в формате PowerSim Studio Express 10 представлена на рис. 1. Основные зависимости модели представлены следующими выражениями.

1. Траектория индекса Джини:

$$Gini_Forecast(t) = a_0 + \sum_{i=1}^{13} a\{i\} x\{i\}(t), \tag{6}$$

где $a_0, a\{i\}$ — соответствующие коэффициенты a_{ij} , а $x\{i\}(t)$ — факторы регрессионных уравнений.

2. Структурные факторы уровня образования (1–5), структуры городского/сельского населения (6–7), соотношения трудоспособного/нетрудоспособного населения (11–13)

$$x\{i\}(t) = \frac{u\{i\}(t)}{Population(t)}, \tag{7}$$

где $u_{\{i\}}(t)$ — динамика абсолютных показателей численности населения с соответствующим уровнем образования, численность городского и сельского населения, численность населения до трудоспособного, после трудоспособного и трудоспособного возраста, $Population(t)$ — динамика численности населения субъекта.

3. Величина миграционного прироста:

$$x_8 = u_8(t) - u_8(t-1), \quad (8)$$

где $u_8(t)$ — траектория ежегодных объемов миграции из расчета на 1 тыс. человек.

4. Половая структура трудоспособного населения:

$$x_9(t) = u_9(t) \cdot \frac{x_{12}(t)}{Population(t)},$$

$$x_{10}(t) = u_{10}(t) \cdot \frac{x_{12}(t)}{Population(t)}, \quad (9)$$

где $u_9(t)$ и $u_{10}(t)$ — динамика численности, соответственно, женщин и мужчин трудоспособного возраста, $x_{12}(t)$ — доля населения в трудоспособном возрасте.

4. Траектории абсолютных величин факторов:

$$u_{\{i\}}(t) = XLDATA$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{"source.xlsx", "data",} \\ \text{"интервал"} \end{array} \right) \quad (10)$$

загружаются стандартной функцией.

Фрагмент расчетного блока модели в PowerSim Studio Express 10 представлен на рис. 2.

4. Результаты расчетов экспериментальных траекторий

Результаты статистического анализа, приведенные Гончаровой [50] и Шеломенцевым и Гончаровой [51], пока-

зали существование сильной связи между уровнем образования населения и уровнем дифференциации доходов в ряде субъектов. Проведем серию имитационных экспериментов с целью определения влияния структуры образования населения субъекта на траекторию дифференциации доходов и непосредственно индекса Джини.

Исследование характера полученных траекторий позволит устанавливать приоритеты развития региональной политики в сфере образования, которая рассматривается как инструмент снижения дифференциации доходов населения в регионе. Для этого первоначально отберем те субъекты, для которых связь с данными факторами статистически наиболее достоверна.

Таким образом множество исследуемых субъектов сформировано следующим образом: Владимирская область; Московская область; Тамбовская область; Тульская область; Краснодарский край; Республика Дагестан; Самарская область; Забайкальский край.

Рассмотрим следующую постановку эксперимента. В современной российской образовательной системе высшее образование (ВО) и среднее профессиональное образование (СПО) выступают в качестве взаимоисключающих альтернатив. Проведем два эксперимента:

1. Преференции предоставляются среднему профессиональному образованию, в результате чего увеличивается численность населения с данным уровнем образования, численность населения с высшим образованием изменяется согласно трендам.

2. Преференции предоставляются высшему образованию, в результате чего увеличивается численность населения с высшим образованием, доля населения с высшим образованием растет, численность населения со средним профессиональным образованием изменяется согласно трендам.

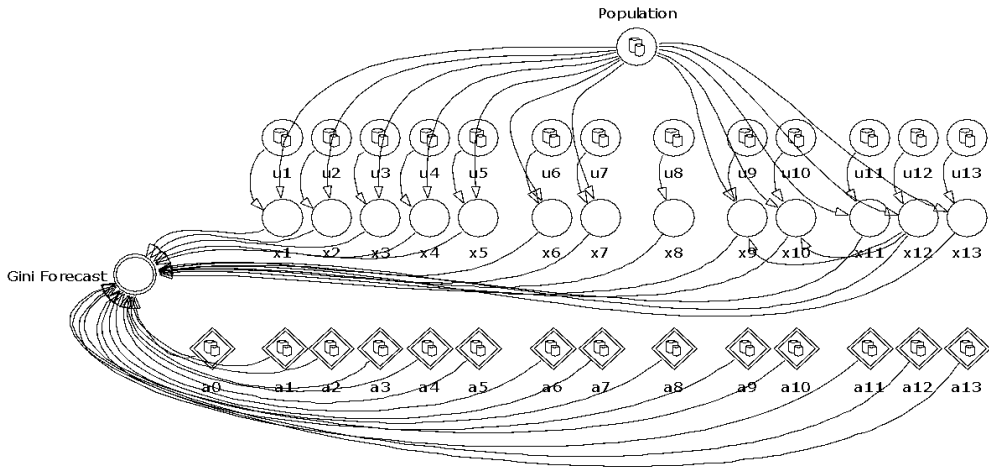


Рис. 1. Диаграмма причинно-следственных связей системно-динамической модели пространственной дифференциации доходов населения регионов России в PowerSim
Figure 1. Diagram of cause-and-effect relationships of the system-dynamic model of spatial differentiation of incomes of the population of Russian regions in PowerSim

Источник: составлено авторами.

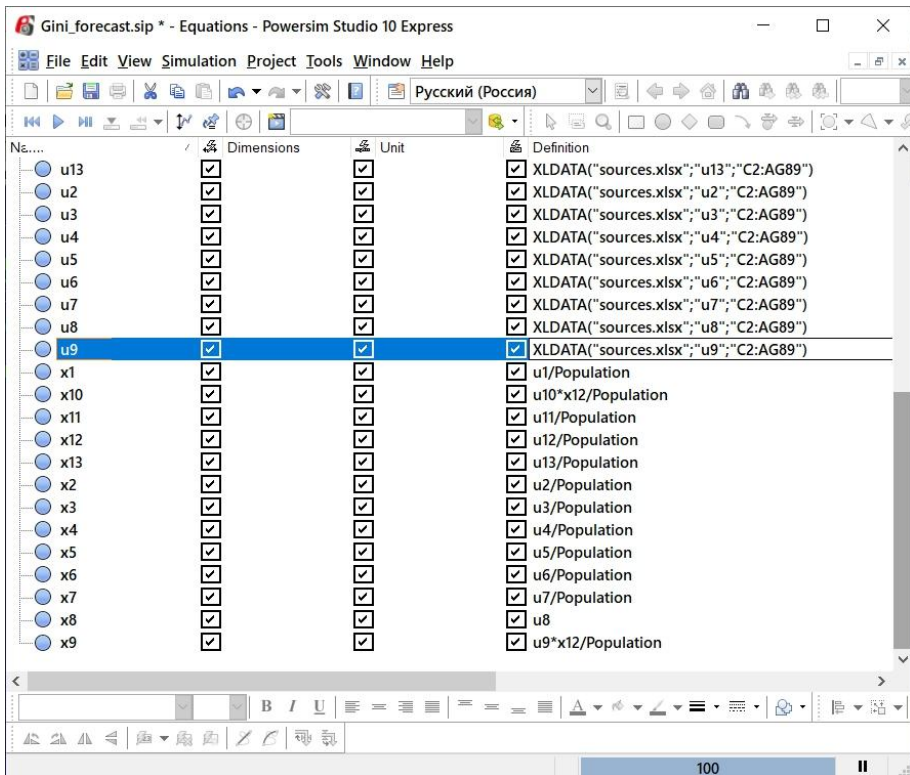


Рис. 2. Фрагмент представления расчетного блока системно-динамической модели в интерфейсе PowerSim
Figure 2. A fragment of the representation of the calculation block of the system-dynamic model in the PowerSim interface

Источник: составлено авторами.

Сопоставление результатов данных экспериментов позволяет оценить влияние региональной политики в сфере образования на дифференциацию доходов населения. Реализация государственной политики в сфере образования предполагает увеличение финансирования, учреждение новых образовательных организаций, введение повышающих коэффициентов оплаты труда и стипендий для соответствующего сектора образования, и другие механизмы, способствующие увеличению численности населения, получившего образование определенного уровня.

4.1. Представление предпочтений среднему профессиональному образованию

Эксперимент 1. Изучим формирование траектории дифференциации доходов в результате целенаправленного развития среднего профессионального образования. Предположим, что количество людей с окончанным СПО возрастает ежегодно с фиксированным приростом η , определяемым по отношению к первоначальному базису расчетов, $\eta \in [0,01; 0,05]$.

В качестве базиса расчетов возьмем соответствующую численность населения субъекта, имеющих в базисном году окончание СПО (x_2). Предположим, что рост x_2 обеспечивается за счет уменьшения количества населения со средним общим образованием (СрОО) среди лиц, не достигших трудоспособного возраста.

Кроме того, поскольку СПО является взаимоисключающей альтернативой для высшего профессионального образования, такой рост будет препятствовать в определенной мере росту численности населения с ВО.

Результаты расчетов отдельных точек траекторий приведены в табл. 1 и на рис. 3, траектории индекса Джини приведены на рис. 4. В качестве гори-

зонтальной оси выступает ось модельного времени, единичное деление соответствует одному году. При расчетах использованы фактические данные по индексу Джини субъектов за 1995–2018 гг. (периоды моделирования 1–24). Периоды 25–30 — расчетные данные модельных экспериментов.

Результатом данного исследования является экспериментальная модель системной динамики, позволившая рассчитать различные сценарии развития территориальной дифференциации доходов населения России в зависимости от изменения значений управляющих параметров во времени. При этом численный эксперимент в настоящем проекте использован для имитации реальных экономических процессов конвергенции и дивергенции в строго контролируемых условиях, что позволило выявить основные тенденции и особенности территориальной дифференциации доходов населения России в зависимости от местных приоритетов развития среднего и высшего профессионального образования.

Отсутствие динамики в Тульской области объясняется нулевыми коэффициентами при сценарно изменяющихся переменных (численность населения с СПО, x_2 и численность населения со средним общим образованием (СрОО), x_3). Владимирская область и Краснодарский край отреагировали некоторым прогрессом в выравнивании доходов — индекс Джини в них снижался. В остальных субъектах прогнозируется увеличение дифференциации доходов. Наименьшее влияние на рост индекса прогнозируется в Московской области, наибольший — в Республике Дагестан.

Рассмотрим дополнительно влияние значения параметра η на темпы изменения результирующего индекса на примере одного из регионов — Краснодарского края. Результаты приведены в табл. 2

и на рис. 5. Результаты расчетов показывают, что для данного региона рост численности населения с СПО приводит

к устойчивому снижению значения индекса Джинни при всех исследованных темпах его ежегодного прироста (1–5%).

Таблица 1. Результаты имитационного эксперимента: прогноз индекса Джинни (Сценарий: рост численности населения со средним профессиональным образованием, $\eta = 0,03$)

Table 1. Simulation experiment results: Gini index forecast (The script: population growth with secondary vocational education, $\eta = 0,03$)

Субъект Федерации	Год						Темпы прироста, %
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Владимирская область	0,349	0,349	0,349	0,349	0,349	0,349	-0,0004
Московская область	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,0008
Тамбовская область	0,375	0,375	0,375	0,376	0,376	0,376	0,0631
Тульская область	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,0000
Краснодарский край	0,403	0,403	0,402	0,402	0,402	0,402	-0,0696
Республика Дагестан	0,388	0,388	0,389	0,389	0,390	0,390	0,0967
Самарская область	0,377	0,377	0,377	0,377	0,377	0,377	0,0193
Забайкальский край	0,369	0,369	0,369	0,369	0,369	0,369	0,0091

Источник: составлено авторами.

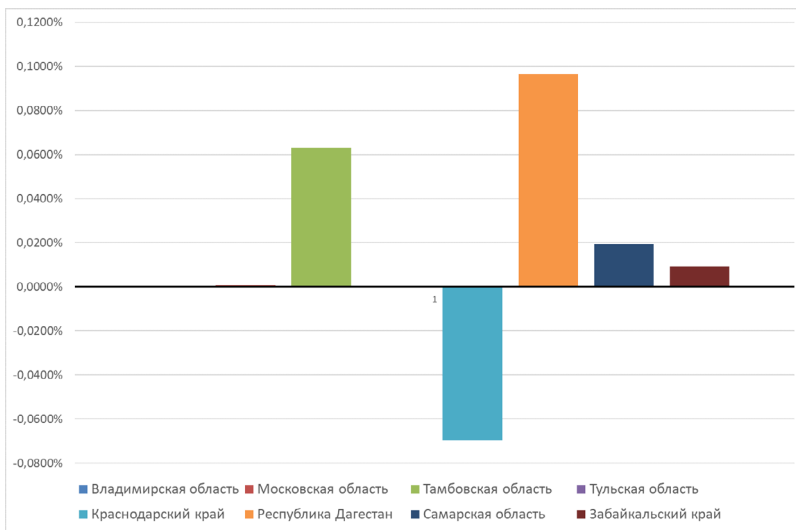


Рис. 3. Соотношение темпов прироста результирующего индекса Джинни для исследуемых субъектов (для трех из них темп прироста близок к 0). (Сценарий: рост численности населения со средним профессиональным образованием, $\eta = 0,03$)

Figure 3. The ratio of the growth rate of the resulting Gini index for the subjects studied (for three of them, the growth rate is close to 0). (The script: population growth with secondary vocational education, $\eta = 0,03$)

Источник: составлено авторами.

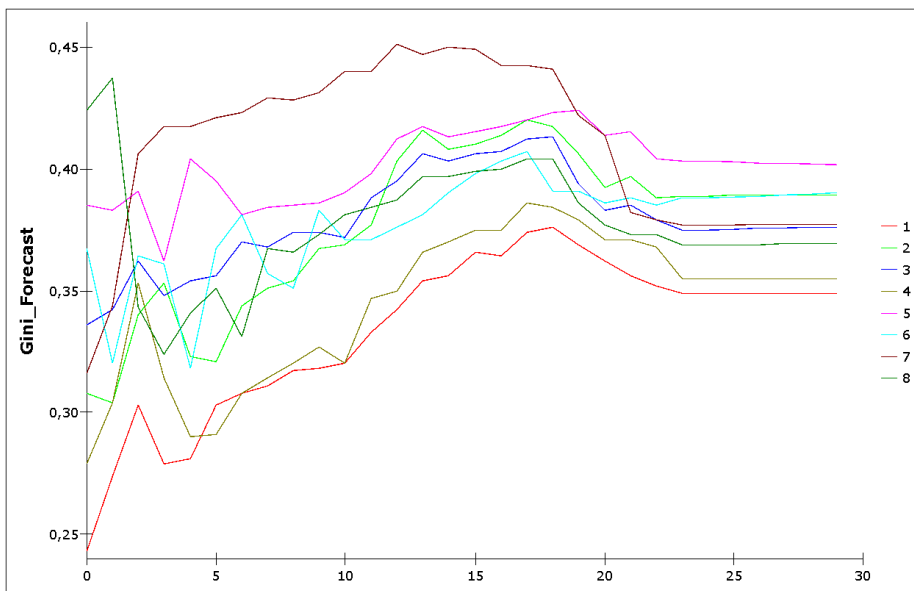


Рис. 4. Траектория индекса Джини (Эксперимент 1). Горизонтальная ось – модельное время, единичное деление соответствует одному году, траектория для периода 1–24 построена по реальным данным за 1995–2018 гг., для периода 25–30 – расчетные данные модельных экспериментов.

Условные обозначения: 1 – Владимирская область; 2 – Московская область; 3 – Тамбовская область; 4 – Тульская область; 5 – Краснодарский край; 6 – Республика Дагестан; 7 – Самарская область; 8 – Забайкальский край

Figure 4. The trajectory of the Gini index (Experiment 1). The horizontal axis is the model time, the unit division corresponds to one year, the trajectory for the period 1–24 is based on real data for 1995–2018, for the period 25–30 – the calculated data of model experiments.

Symbols: 1 – Vladimir Region; 2 – Moscow region; 3 – Tambov region; 4 – Tula region; 5 – Krasnodar Territory; 6 – Republic of Dagestan; 7 – Samara Region; 8 – Trans-Baikal Territory.

Источник: составлено авторами.

Таблица 2. Влияние параметра η на формирование траектории дифференциации доходов и темпы изменения индекса Джини (Сценарий: рост численности населения с СПО, Краснодарский край)

Table 2. The influence of the parameter η on the formation of the trajectory of income differentiation and the rate of change of the Gini index (The script: population growth with SPO, Krasnodar Territory)

Значение параметра η	Год					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1 %	0,40300	0,40291	0,40281	0,40272	0,40263	0,40253
2 %	0,40300	0,40281	0,40263	0,40244	0,40225	0,40206
3 %	0,40300	0,40272	0,40244	0,40216	0,40188	0,40160
4 %	0,40300	0,40263	0,40225	0,40188	0,40150	0,40113
5 %	0,40300	0,40253	0,40206	0,40160	0,40113	0,40066

Источник: составлено авторами.

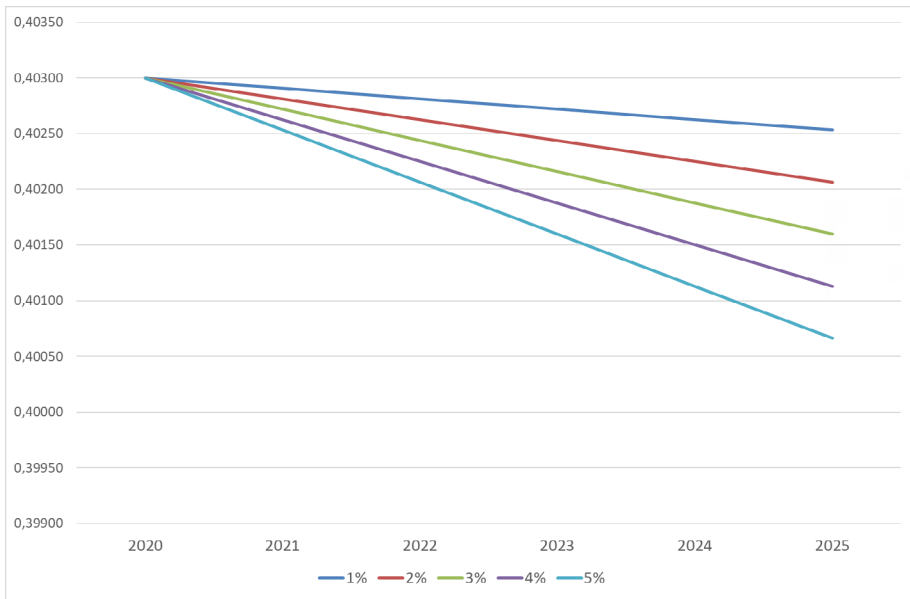


Рис. 5. Траектории индекса Джини при вариации параметра η (фиксированный темп прироста населения с СПО). Сценарий: рост численности населения с СПО, Краснодарский край

Figure 5. Trajectories of the Gini index with variation of the parameter η (fixed population growth rate with SPO). The script: population growth with SPO, Krasnodar Krai

Источник: составлено авторами.

4.2. Представление предпочтений высшему образованию

Эксперимент 2. Рассмотрим сценарий, в котором приоритетность развития получает высшее образование. Предположим, что количество людей с окончанным ВО, по аналогии с Экспериментом 1, возрастает ежегодно с фиксированным приростом, определяемым по отношению к первоначальному базису расчетов в соответствии с параметром $\eta \in [0,01; 0,05]$.

В качестве базиса расчетов возьмем соответствующую численность населения субъекта, имеющих в базисном году оконченное ВО (x_1). Аналогично, предположим, что рост x_1 обеспечивается за счет уменьшения количества населения со СрОО среди лиц, не достигших трудоспособного возраста. Как и ранее, поскольку ВО и СПО — взаимоисключающие альтернативы, рост x_1

будет сдерживать рост численности населения с СПО.

Результаты расчетов отдельных точек траекторий приведены в табл. 3. и на рис. 6. Траектории индекса Джини приведены на рис. 7.

Отсутствие динамики во Владимирской и Московской областях объясняется нулевыми коэффициентами при сценарно изменяющихся переменных (численность населения с ВО, x_1 и численность населения с СрОО, x_3). Положительная динамика в выравнивании доходов, характеризуемая снижением прогнозных значений индекса Джини наблюдается только в Самарской области. В остальных субъектах прогнозируется увеличение дифференциации доходов. Наименьшее влияние на рост индекса прогнозируется в Тульской области, наибольший — в Республике Дагестан.

Таблица 3. Результаты имитационного эксперимента (Сценарий: рост численности населения с ВО, $\eta = 0,03$)Table 3. Results of the simulation experiment (The script: population growth with VO, $\eta = 0,03$)

Субъект Федерации	Год						Темпы прироста, %
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Владимирская область	0,349	0,349	0,349	0,349	0,349	0,349	0,0000
Московская область	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,0000
Тамбовская область	0,375	0,375	0,376	0,376	0,376	0,377	0,0906
Тульская область	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,0005
Краснодарский край	0,403	0,403	0,404	0,404	0,405	0,405	0,1171
Республика Дагестан	0,388	0,389	0,390	0,392	0,393	0,394	0,3178
Самарская область	0,377	0,377	0,377	0,377	0,377	0,377	-0,0242
Забайкальский край	0,369	0,369	0,369	0,369	0,369	0,369	0,0233

Источник: составлено авторами.

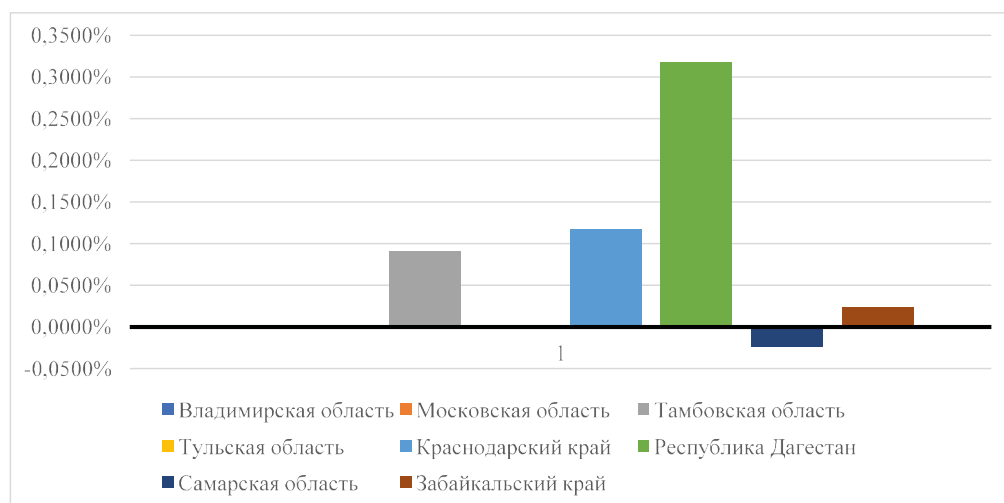


Рис. 6. Соотношение темпов прироста результирующего индекса Джини субъектов, темпы роста по 3 субъектам близкие к 0. (Сценарий: рост численности населения с ВО, $\eta = 0,03$)

Figure 6. The ratio of the growth rates of the resulting Gini index of subjects, the growth rates for 3 subjects are close to 0. (Scenario: population growth with High Education, $\eta = 0,03$)

Источник: составлено авторами.

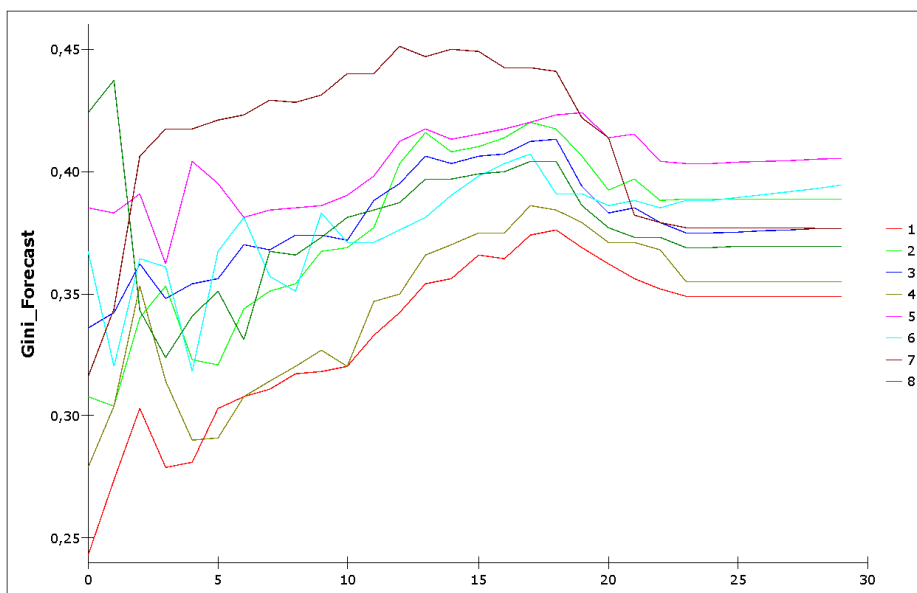


Рис. 7. Траектория индекса Джини (Эксперимент 2). Горизонтальная ось – модельное время, единичное деление соответствует одному году, траектория для периода 1–24 построена по реальным данным за 1995–2018 гг., для периода 25–30 – расчетные данные модельных экспериментов.

Условные обозначения: 1 – Владимирская область; 2 – Московская область; 3 – Тамбовская область; 4 – Тульская область; 5 – Краснодарский край; 6 – Республика Дагестан; 7 – Самарская область; 8 – Забайкальский край

Figure 7. The trajectory of the Gini index (Experiment 2). The horizontal axis is the model time, the unit division corresponds to one year, the trajectory for the period 1–24 is based on real data for 1995–2018, for the period 25–30 – the calculated data of model experiments.

Symbols: 1 – Vladimir Region; 2 – Moscow region; 3 – Tambov region; 4 – Tula region; 5 – Krasnodar Territory; 6 – Republic of Dagestan; 7 – Samara Region; 8 – Trans-Baikal Territory

Источник: составлено авторами.

Рассмотрим дополнительно влияние параметра η на формирование траекторий дифференциации доходов, отслеживаемого в динамике изменения

результатирующего индекса, на примере одного из регионов — Краснодарского края. Результаты приведены в табл. 4 и на рис. 8.

Таблица 4. Влияние параметра η на формирование траектории дифференциации доходов и темпы изменения индекса Джини (Сценарий: рост численности населения с ВПО, Краснодарский край)

Table 4. The influence of the parameter η on the formation of the income differentiation trajectory and the rate of change of the Gini index (The script: population growth with HPE, Krasnodar Territory)

Значение параметра η	Год					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1 %	0,40300	0,40316	0,40331	0,40347	0,40363	0,40379
2 %	0,40300	0,40331	0,40363	0,40394	0,40426	0,40457

Окончание табл. 4

Значение параметра η	Год					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
3%	0,40300	0,40347	0,40394	0,40442	0,40489	0,40536
4%	0,40300	0,40363	0,40426	0,40489	0,40552	0,40615
5%	0,40300	0,40379	0,40457	0,40536	0,40615	0,40693

Источник: составлено авторами.

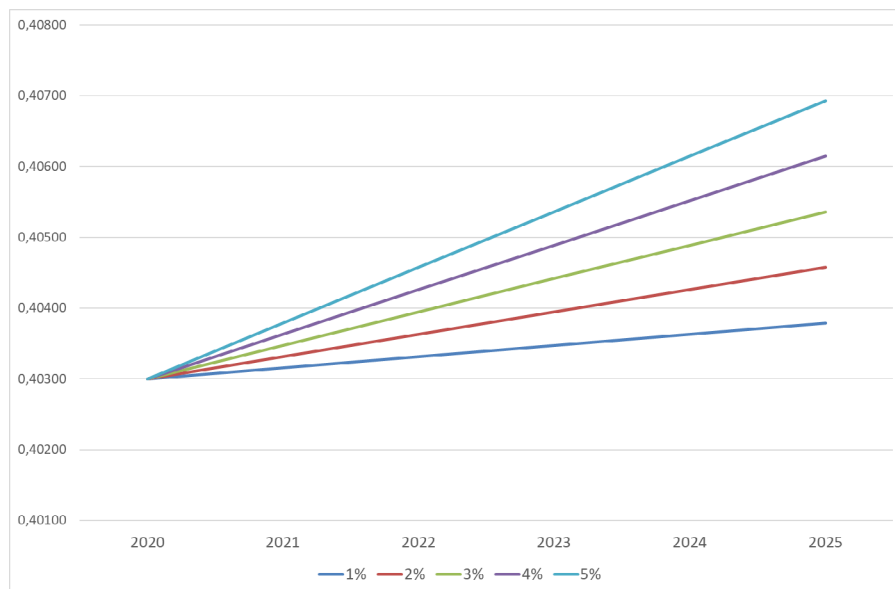


Рис. 8. Траектории индекса Джини при вариации параметра η (фиксированный темп прироста населения с ВО). Сценарий: рост численности населения с ВО, Краснодарский край

Figure 8. Trajectories of the Gini index with variation of the parameter η (fixed population growth rate with HE). The script: population growth from High Education, Krasnodar Krai

Источник: составлено авторами.

4.3. Сравнительный анализ результатов экспериментов

Сопоставляя результаты обоих имитационных экспериментов (табл. 5), можно сделать вывод, что в основном рост уровня образования, как высшего профессионального, так и среднего профессионального, приводит к усилению дифференциации доходов. Очевидно, что повышение уровня образования положительно сказывается на уровне доходов, что приводит

к перераспределению доходов по расчетным группам.

Таким образом можно сделать общий вывод, что развитие образования будет приводить к дальнейшему росту дифференциации, темпы которого в данном исследовании определены экспериментально.

Выявлено, что наибольшее влияние на дифференциацию доходов в ходе экспериментов уровень образования оказывает в двух субъектах — Краснодарском крае и Республике Дагестан (рис. 9).

Таблица 5. Сравнительный анализ результатов экспериментов

Table 5. Comparative analysis of experimental results

№ п/п	Субъект Федерации	Темп прироста инд. Джини		Рекомендованная стратегия для компенсации неравенства доходов
		Эксп. 1: Приоритет СПО	Эксп. 2: Приоритет ВО	
1	Владимирская область	-0,0004 %	<10 ⁻⁴ %	Развитие среднего профобразования
2	Московская область	0,0008 %	<10 ⁻⁴ %	Влияние образовательной стратегии незначительно
3	Тамбовская область	0,0631 %	0,0906 %	Повышение доходов групп с низким доходом
4	Тульская область	<10 ⁻⁴ %	0,0005 %	Влияние образовательной стратегии незначительно
5	Краснодарский край	-0,0696 %	0,1171 %	Развитие среднего профобразования
6	Республика Дагестан	0,0967 %	0,3178 %	Повышение доходов групп с низким доходом
7	Самарская область	0,0193 %	0,0242 %	Развитие высшего образования
8	Забайкальский край	0,0091 %	0,0233 %	Повышение доходов групп с низким доходом

Источник: составлено авторами.

Согласно данным экспериментов, в Краснодарском крае диспропорции в распределении доходов корректирует стратегия, направленная на развитие СПО. Увеличение доли граждан со средним профессиональным образованием будет способствовать исправлению диспропорций в доходах групп, представленных рабочими специальностями. Дальнейший перекоп в сторону увеличения численности населения с ВО наполнит верхние по доходу группы, что увеличит диспропорции распределения дохода.

Для Республики Дагестан, согласно экспериментам, реализация любой стратегии будет способствовать росту диспропорций распределения дохода, однако больший эффект эта тенденция будет иметь при увеличении доли населения с ВО.

В целом стратегия корректировки диспропорций для данного субъекта лежит не в сфере образования, несмотря на выявленную связь, а в сфере повышения уровня доходов населения наименее обеспеченных расчетных группах. Отметим также, что развитие СПО во Владимирской области и ВО в Самарской будет способствовать незначительной корректировке диспропорций в дифференциации доходов.

5. Обсуждение

Представленная в данной работе имитационная системно-динамическая модель позволяет проводить компьютерные эксперименты по расчету возможных траекторий развития дифференциации доходов населения при различных сценариях изменения внешней и внутренней

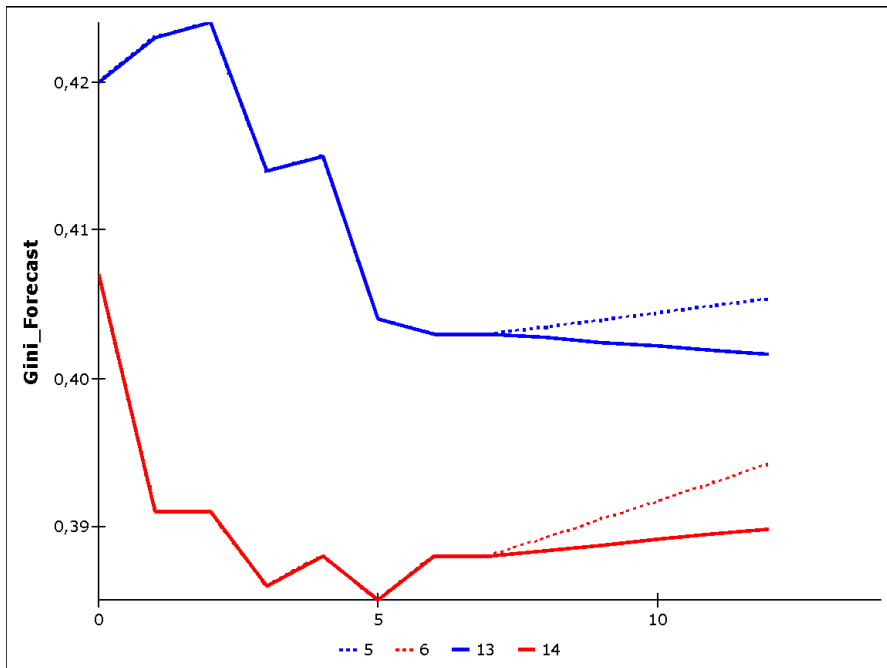


Рис. 9. Сопоставление сценариев.

Условные обозначения: Эксперимент 2: 5 – Краснодарский край (пунктир); 6 – Республика Дагестан (пунктир); Эксперимент 1: 13 – Краснодарский край; 14 – Республика Дагестан

Figure 9. Scenario mapping.

Symbols: Experiment 2: 5 – Krasnodar Territory (dotted line); 6 – Republic of Dagestan (dotted line); Experiment 1: 13 – Krasnodar Territory; 14 – Republic of Dagestan.

Источник: составлено авторами.

среды, включая региональную политику в социально-экономической сфере, с учетом региональных особенностей. Эта модель является первой системно-динамической моделью для расчетов неоднородности доходов населения на региональном уровне.

В настоящее время ее функционал минимальный и в зависимости от поставленных задач он может быть расширен по следующим направлениям:

- увеличение количества факторов, используемых для расчета экспериментальных траекторий дифференциации доходов;

- введение в сценарии дополнительных условий, связанных с прогнозируемыми условиями изменения внешней и внутренней среды (например, рост цен,

ставка рефинансирования ЦБ, последствия санкционного давления на страну и др.);

- моделирование комплексных мер регионального развития, когда в рамках одного сценария предусматривается целенаправленное воздействие одновременно на несколько социально-экономических параметров, которые могут иметь как усиливающее, так и компенсирующее влияние на дифференциацию доходов населения.

Для этого необходимо существенное расширение используемой информационной базы Росстата, а также привлечение альтернативных источников, в том числе качественной и количественной информации, характеризующей влияние факторов при различных

сценариях развития ситуации. Конечным критерием расширения такой базы является требование универсальности факторов, влияние которых должно отслеживаться на траекториях всех субъектов. Осуществление указанного позволит расширить инструментальную базу сценарного анализа государственной политики и принятия решений в сфере регулирования дифференциации доходов населения.

Возможности расчета траекторий в рамках предлагаемой системно-динамической модели продемонстрированы в двух компьютерных экспериментах, соответствующих различным приоритетам в региональной образовательной политике. Очевидно, что повышение уровня образования положительно сказывается на уровне доходов, что приводит к перераспределению доходов по расчетным группам. Этот результат согласуется, в частности, с выводами Локосова и др. [28], Niew & Xingb [33].

Таким образом гипотеза исследования о наличии региональных особенностей влияния уровня развития человеческого капитала на пространственную дифференциацию доходов населения субъектов Федерации может считаться подтвержденной.

Дальнейшее исследование данного явления с использованием системно-динамической модели требует сопоставления средней заработной платы по субъекту со средними заработными платами в соответствующих расчетных группах. В условиях, когда развитие образования будет приводить к дальнейшему росту дифференциации (а его темпы в данной работе определены экспериментально), государство должно реализовывать стратегии, направленные на компенсацию роста дифференциации доходов, например путем повышения доходов групп с низким доходом. Разработка таких стратегий выходит

за рамки данного исследования в силу отсутствия необходимой информационной базы для анализа и прогнозирования.

6. Заключение

Результатом данного исследования является разработка экспериментальной модели системной динамики, позволившей рассчитать различные сценарии развития территориальной дифференциации доходов населения России в зависимости от изменения значений управляющих параметров во времени.

При этом численный эксперимент использован для имитации реальных экономических процессов конвергенции и дивергенции в строго контролируемых условиях, что позволило выявить основные тенденции и особенности территориальной дифференциации доходов населения России в зависимости от местных приоритетов развития среднего профессионального и высшего образования. Численный эксперимент проводился с использованием фактического материала по следующим социально-демографическим факторам: половозрастная структура населения, численность городского и сельского населения, миграция и уровень образования.

В результате расчетов экспериментальных траекторий с использованием разработанной системно-динамической модели была подтверждена гипотеза о существовании региональных особенностей влияния уровня развития человеческого капитала на пространственную дифференциацию доходов населения субъектов Федерации.

Было показано, что в основном рост уровня образования, как высшего профессионального, так и среднего профессионального, приводит к усилению дифференциации доходов, причем наиболее сильным это влияние оказалось характерным (по данным экспериментов) для двух субъектов: Краснодарского

края и Республики Дагестан. Однако есть регионы и с незначительным влиянием роста уровня образования на дифференциацию доходов населения, к ним, в частности, относятся Московская и Тульская области.

В зависимости от степени влияния региональной образовательной политики (приоритетное развитие среднего профессионального или высшего образования) результаты расчетов позволили предложить реализацию превентивных мер по компенсации дальнейшего роста неравенства в зависимости от региональных особенностей влияния социально-демографических факторов на дифференциацию доходов населения. Полученные результаты полностью соответствуют заявленной цели исследования.

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в углублении представлений о региональной специфике влияния уровня развития че-

ловеческого капитала на пространственную дифференциацию доходов населения субъектов Федерации. Практическая значимость результатов исследования заключается в расширении инструментальной поддержки принятия решений при реализации государственной политики в сфере регулирования дифференциации доходов населения на региональном уровне.

Разработанную авторами модель предлагается рассматривать в качестве нового инструмента численного (сценарного) анализа влияния социальных и демографических факторов на изменение дифференциации доходов населения в регионах России. Полученные на основе применения системно-динамической модели экспериментальные результаты позволяют получить научно обоснованные рекомендации по дальнейшему регулированию процессов дифференциации доходов с учетом влияния социальных и демографических факторов.

Список использованных источников

1. *Кирута А. Я.* Влияние неравенства на качество человеческого потенциала в России // Вестник института социологии. 2011. № 3. С. 67–87. URL: https://www.vestnik-isras.ru/files/File/Vestnik_2011_32/Kiruta.pdf
2. *Шевяков А. Ю.* Неравенство доходов как фактор экономического и демографического роста // Инновации. 2011. № 1 (147). С. 7–19. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17988282>
3. *Barro R. J.* Inequality and Growth in a Panel of Countries // Journal of Economic Growth. 2000. Vol. 5. Pp. 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1009850119329>
4. *Partridge M. D.* Does Income Distribution Affect US State Economic Growth? // Journal of Regional Science. 2005. Vol. 45, Issue 2. Pp. 363–394. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0022-4146.2005.00375.x>
5. *Alesina A., Rodrik D.* Distributive Politics and Economic Growth // Quarterly Journal of Economics. 1994. Vol. 109, Issue 2. Pp. 465–490. <https://doi.org/10.2307/2118470>
6. *Аганбегян А. Г.* Преодоление бедности и сокращение неравенства по доходам и потреблению в России // ЭКО. 2017. Т. 47, № 9. С. 66–84. URL: <https://ecotrends.ru/index.php/eo/article/view/1363/3078>
7. *Римашевская Н. М., Кислицына О. А.* Неравенство доходов в странах с переходной экономикой // Народонаселение. 2002. № 2. С. 35–41. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54708920>
8. *Шкаратан О. И.* Социально-экономическое неравенство в современном мире и становление новых форм социального расслоения в России // Мир России. Социология. Этнология. 2018. Т. 27, № 2. С. 6–35. <https://doi.org/10.17323/1811-038X-2018-27-2-6-35>
9. *Denk O., Cournède B.* Finance and income inequality in OECD countries // OECD Economics Department Working Papers. No. 1224. Paris: OECD Publishing, 2015. <http://dx.doi.org/10.1787/5js04v5jm2hl-en>

10. *Perera-Tallo F.* Growing Income Inequality due to Biased Technological Change // Journal of Macroeconomics. 2017. Vol. 52. Pp. 23–38. <http://doi.org/10.1016/j.jmacro.2017.02.002>
11. *Burniaux J., Padrini F., Brandt N.* Labour Market Performance, Income Inequality and Poverty in OECD countries // OECD Economics Department Working Papers. No. 500. Paris: OECD Publishing, 2006. <http://dx.doi.org/10.1787/882154447387>
12. *Архангельский В. Н.* Возможности использования показателей для реальных поколений при оценке динамики рождаемости // Human Progress. 2022. Т. 8, Вып. 2. С. 1–16. <https://doi.org/10.34709/IM.182.4>
13. *Антонов А. И.* Современные демографические тенденции и аналитические прогнозы, проблемы семейно-демографической политики в социальном государстве // Вестник московского университета. Серия 18. Социология и политология. 2010. № 4. С. 134–150. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15565394>
14. *Цапенко И. П.* Экономический цикл и международная миграция населения // Мировая экономика и международные отношения. 2011. № 8. С. 31–42. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2011-8-31-42>
15. *Костылева Л. В.* Пространственные аспекты социально-экономической дифференциации населения региона // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогнозы. 2009. № 3 (7). С. 82–92. URL: http://esc.isert-ran.ru/article/99/full?_lang=ru
16. *Овчарова Л. Н., Попова Д. О.* Доходы и расходы российских домашних хозяйств: что изменилось в массовом стандарте потребления // Мир России. Социология. Этнология. 2013. Т. 22, № 3. С. 3–34. URL: <https://mirros.hse.ru/article/view/4988/5348>
17. *Беляева Л. А.* Поколение Y в России: социальная стратификация, положение на рынке труда и проблемы политической социализации // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогнозы. 2020. Т. 13, № 4. С. 220–237. <https://doi.org/10.15838/esc.2020.4.70.13>
18. *Минакир П.* Мнимые и реальные диспропорции экономического пространства // Пространственная экономика. 2008. № 4. С. 5–18. <http://dx.doi.org/10.14530/se.2008.4.005-018>
19. *Бахтизин А. Р., Бухвальд Е. М., Кольчугина А. В.* Выравнивание регионов России: иллюзии программы и реалии экономики // Вестник Института экономики РАН. 2016. № 1. С. 76–91. URL: https://vestnik-ieran.ru/archive/2016/vn_2016_1.pdf
20. *Коломак Е. А.* Межрегиональное неравенство в России: экономический и социальный аспект // Пространственная экономика. 2010. № 1. С. 26–35. <http://dx.doi.org/10.14530/se.2010.1.026-035>
21. *Kent J. L.* Situated practices of strategic planning: an international perspective // Urban Policy and Research. 2018. Vol. 36, Issue 4. Pp. 531–532. <https://doi.org/10.1080/08111146.2018.1483290>
22. *Лавровский Б. Л.* Территориальная дифференциация и подходы к ее ослаблению в Российской Федерации // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2003. Т. 7, № 4. С. 524–537. URL: https://www.hse.ru/data/2010/12/31/1208182100/07_04_06.pdf
23. *Гранберг А. Г.* Моделирование пространственного развития национальной экономики // Регион: Экономика и Социология. 2007. № 1. С. 87–107. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11135346>
24. *Малкина М. Ю.* Оценка факторов внутрирегиональной дифференциации доходов населения РФ // Пространственная экономика. 2015. № 3. С. 97–119. <http://dx.doi.org/10.14530/se.2015.3.097-119>
25. *Зубаревич Н. В.* Неравенство регионов и крупных городов России: что изменилось в 2010-е годы // Общественные науки и современность. 2019. № 4. С. 57–70. <https://doi.org/10.31857/S086904990005814-7>
26. *Сустицын С. А.* Комплекс методик и процедур анализа и прогнозирования развития восточных регионов РФ // Регион: Экономика и Социология. 2021. № 3 (111). С. 3–35. <http://dx.doi.org/10.15372/REG20210301>

27. Скуфьина Т. П., Баранов С. В. Методики межрегиональных сопоставлений: сфера применения и основные принципы // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2, часть 1. 297. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=20573>
28. Локосов В. В., Рюмина Е. В., Ульянов В. В. Региональная дифференциация показателей человеческого потенциала // Экономика региона. 2015. № 4. С. 185–196. <https://doi.org/10.17059/2015-4-15>
29. Меркулова Т. В. Экономический рост и неравенство: институциональный аспект и эмпирический анализ // Мир России. Социология. Этнология. 2010. Т. 19, № 2. С. 59–77. URL: <https://mirros.hse.ru/article/view/5095/5443>
30. Овчарова Л. Н., Попова Д. О., Рудберг А. М. Декомпозиция факторов неравенства доходов в современной России // Журнал Новой экономической ассоциации. 2016. № 3 (31). С. 170–185. <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2016-31-3-8>
31. Гершман Б. А. Неравенство доходов и экономический рост: обзор экономических исследований // Экономическая наука современной России. 2009. № 2 (45). С. 104–116. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12841014>
32. Григорьев Р. А., Крамин М. В., Крамин Т. В., Тимирязова А. В. Неравенство распределения дохода и экономический рост в регионах России в посткризисный период // Экономика региона. 2015. № 3. С. 102–113. <https://doi.org/10.17059/2015-3-9>
33. Niea H., Xingb C. Education expansion, assortative marriage, and income inequality in China // China Economic Review. 2019. Vol. 55. Pp. 37–51. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2019.03.007>
34. Altunbas Y., Thorntonab J. The impact of financial development on income inequality: A quantile regression approach // Economics Letters. 2019. Vol. 175. Pp. 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.12.030>
35. Liu C., Jiang Y., Xie R. Does income inequality facilitate carbon emission reduction in the US? // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 217. Pp. 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.242>
36. Афонина Т. Н., Ломанов А. О., Шуметов В. Г. Оценка качества жизни населения регионов Центральной России с учетом дифференциации денежных доходов // Региональная экономика: теория и практика. 2018. Т. 16, № 10. С. 1976–1994. <https://doi.org/10.24891/re.16.10.1976>
37. Войнова В. И. Подходы к декомпозиции доходного неравенства: отличия и условия применения // Учет и статистика. 2021. № 3 (63). С. 88–98. <https://doi.org/10.54220/1994-0874.2021.63.3.010>
38. Ибрагимова З. Ф., Франц М. В. Неравенство доходов, его субъективное восприятие и влияние на психосоциальное самочувствие населения // Статистика и экономика. 2018. Т. 15, № 4. С. 52–60. <http://dx.doi.org/10.21686/2500-3925-2018-4-52-60>
39. Sterman J. D. System Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World // Working Paper Series. ESD-WP-2003–01.13-ESD Internal Symposium. Massachusetts Institute of Technology, Engineering Systems Division, 2002. 29 p. URL: <http://hdl.handle.net/1721.1/102741>
40. Longbin Z. A System Dynamics Based Study of Policies on Reducing Energy Use and Energy Expense for Chinese Steel Industry. University of Bergen, Department of Geography, 2007. 129 p. URL: https://bora.uib.no/bora-xmlui/bitstream/handle/1956/2363/Masterthesis_Longbin.pdf?sequence=1&isAllowed=y
41. Giampietro M., Mayumi K., Sorman A. The Metabolic Pattern of Societies: Where Economists Fall Short. 1st Edition. London: Routledge, 2011. 496 p. <https://doi.org/10.4324/9780203635926>
42. Fabrizi E., Trivisano C. Small area estimation of the Gini concentration coefficient // Computational Statistics & Data Analysis. 2016. Vol. 99. Pp. 223–234. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2016.01.010>
43. Forrester J. W. Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century // System Dynamic Review. 2016. Vol. 32, Issue 3–4. Pp. 187–203. <https://doi.org/10.1002/sdr.1571>

44. Meadows D. L. Dynamics of Growth in a Finite World. Cambridge: Wright-Allen Press, 1974. 637 p. URL: <https://archive.org/details/dynamicsofgrowth0000unse>
45. Duggan J. An Introduction to System Dynamics // System Dynamics Modeling with R. Lecture Notes in Social Networks. Springer, Cham., 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-34043-2_1
46. Richardson G. P. Feedback Thought in Social Science and Systems Theory. Philadelphia: University of Pennsylvania press, 1991. 374 p. URL: <https://lib.ugent.be/catalog/rug01:000788910>
47. Diemer A., Nedelciu C. E. System Dynamics for Sustainable Urban Planning // Sustainable Cities and Communities. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Edited by W. L. Filho, A. M. Azul, L. Brandli, P. G. Özuyar, T. Wall. Springer, Cham, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71061-7_115-1
48. Bala D. K., Arshad F. M., Noh K. M. System Dynamics: Modelling and Simulation. Springer Texts in Business and Economics. Springer, 2017. 466 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-2045-2>
49. Куренной Д. С., Голембиовский Д. Ю. Оценка вероятности дефолта компании на основе системно-динамической модели // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15, № 2. С. 86–92. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2018-15-2-86-92>
50. Гончарова К. С. Направления совершенствования государственной политики по сокращению региональной дифференциации доходов населения // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2020. № 49. С. 28–48. <https://doi.org/10.17223/19988648/49/3>
51. Шеломенцев А. Г., Гончарова К. С. Численное исследование зависимости структуры расходов домохозяйств от уровня их доходов в контексте концепции самосохранительного поведения // Экономика региона. 2020. Т. 16, № 3. С. 791–806. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-3-9>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тимохин Владимир Николаевич

Доктор экономических наук, профессор кафедры менеджмента качества, Российского университета транспорта, г. Москва, Россия (127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, строение 9); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2729-7046> e-mail: volodya.timokhin@gmail.com

Берг Дмитрий Борисович

Доктор физико-математических наук, профессор базовой кафедры аналитики больших данных и методов видеоанализа Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7703-9750> e-mail: bergd@mail.ru

Шеломенцев Андрей Геннадьевич

Доктор экономических наук, профессор кафедры бизнеса и экономики Института цифровой экономики Югорского государственного университета, г. Ханты-Мансийск, Россия (628012, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1904-9587> e-mail: a.shelom@yandex.ru

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-28-01702 «Экспериментальные траектории процессов пространственной конвергенции и дивергенции доходов населения регионов России в условиях их адаптации к динамичным изменениям».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Тимохин В. Н., Берг Д. Б., Шеломенцев А. Г. Экспериментальная системно-динамическая модель влияния уровня образования на пространственную дифференциацию доходов населения в регионах России // Journal of Applied Economic Research. 2023. Т. 22, № 4. С. 861–891. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2023.22.4.035>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 2 ноября 2022 г.; дата поступления после рецензирования 28 марта 2023 г.; дата принятия к печати 3 ноября 2023 г.

Experimental System-Dynamic Model of an Influence of a Level of Education on a Spatial Differentiation of a Population of Russian Regions

Vladimir N. Timokhin¹ , Dmitry B. Berg²  , Andrei G. Shelomentsev³ 

¹ Russian University of Transport,
Moscow, Russia

² Ural Federal University
named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

³ Yugra State University,
Khanty-Mansiysk, Russia

 bergd@mail.ru

Abstract. The study is devoted to the problem of the spatial differentiation of population income in Russia's regions. The objective of the study is the development of a system-dynamic model for the calculation of spatial differentiation trajectories of income parameters due to various scenarios. Regional features of the human capital development level influencing the spatial differentiation of population income in the Russian regions are assumed. The formulation of the mathematical problem is based on the results of regression analysis of the influence of time series values of socio-demographic factors on population incomes differentiation (Gini coefficient). A specialist application, PowerSim Studio Express 10, was used for model design. Rosstat data on households in the Russian regions were used for calculation of the model experimental trajectories. The main research methods are the following: dynamic analysis of time series; econometric and system-dynamic modeling. As a result of the study, a system-dynamics experimental model was proposed. It was tested in application to eight regions with the most reliable statistical relationship between socio-demographic factors and the Gini index. Numerical experiments were used to simulate real economic processes of convergence and divergence in order to identify the main trends and features of territorial income differentiation depending on local priorities of vocational education development. It was shown that an increase in the level of education, both higher professional and secondary vocational, mainly leads to increased income differentiation. The theoretical significance of the results obtained lies in the deepening of the understanding of the regional features of human capital development influencing the spatial differentiation of population income. The practical significance of the study lies in the expansion of instrumental support for decision-making in the implementation of state policy in the field of regulating the population incomes differentiation at the regional level.

Key words: system dynamics; simulation modeling; development scenarios; experimental trajectories; territorial disproportions; differentiation of living standards; convergence/divergence of income of the population.

JEL R1, C61

References

1. Kiruta, A.Ya. (2011). The impact of inequality on the quality of human potential in Russia. *Bulletin of the Institute of Sociology*, No. 3, 67–87. (In Russ.). Available at: https://www.vestnik-isras.ru/files/File/Vestnik_2011_32/Kiruta.pdf

2. Shevyakov, A.Yu. (2011). Income inequality as a factor in economic and demographic growth. *Innovations*, No. 1, 7–18. (In Russ.). Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17988282>
3. Barro, R.J. (2000). Inequality and Growth in a Panel of Countries. *Journal of Economic Growth*, Vol. 5, 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1009850119329>
4. Partridge, M.D. (2005). Does Income Distribution Affect US State Economic Growth? *Journal of Regional Science*, Vol. 45, Issue 2, 363–394. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0022-4146.2005.00375.x>
5. Alesina, A., Rodrik, D. (1994). Distributive Politics and Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 109, Issue 2, 465–490. <https://doi.org/10.2307/2118470>
6. Aganbegyan, A.G. (2017). Overcoming poverty and reducing inequality in terms of income and consumption in Russia. *ECO*, Vol. 47, No. 9, 66–84. (In Russ.). Available at: <https://ecotrends.ru/index.php/eco/article/view/1363/3078>
7. Rimashevskaya, N.M., Kislitsyna, O.A. (2002). Inequality of income in countries with a transitional economy. *Population*, No. 2, 35–41. (In Russ.). Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54708920>
8. Shkaratan, O.I. (2018). Socio-economic inequality in the modern world and the formation of new forms of social stratification in Russia. *Universe of Russia. Sociology. Ethnology*, Vol. 27, No. 2, 6–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.17323/1811-038X-2018-27-2-6-35>
9. Denk, O., Cournède, B. (2015). Finance and income inequality in OECD countries. *OECD Economics Department Working Papers*, No. 1224. Paris, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/5js04v5jm2hl-en>
10. Perera-Tallo, F. (2017). Growing Income Inequality due to Biased Technological Change. *Journal of Macroeconomics*, Vol. 52, 23–38. <http://doi.org/10.1016/j.jmacro.2017.02.002>
11. Burniaux, J., Padrini, F., Brandt, N. (2006). Labour Market Performance, Income Inequality and Poverty in OECD countries. *OECD Economics Department Working Papers*, No. 500. Paris, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/882154447387>
12. Arkhangelsky, V.N. (2022). Possibilities of using indicators for real generations when assessing fertility dynamics. *Human Progress*, Vol. 8, No. 2, 1–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.34709/IM.182.4>
13. Antonov, A.I. (2010). Modern demographic trends and analytical forecasts, problems of family and demographic policy in a welfare state. *Moscow State University Bulletin. Series 18. Sociology and Political Science*, No. 4, 134–150. (In Russ.). Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15565394>
14. Tsapenko, I.P. (2011). Economic cycle and international migration of the population. *World Economy and International Relations*, No. 8, 31–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2011-8-31-42>
15. Kostyleva, L.V. (2009). Spatial aspects of socio-economic differentiation of the population of the region. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecasts*, No. 7, 82–92. (In Russ.). Available at: http://esc.isert-ran.ru/article/99/full?_lang=ru
16. Ovcharova, L.N., Popova, D.O. (2013). Income and expenses of Russian households: what has changed in the mass consumption standard. *Universe of Russia. Sociology. Ethnology*, Vol. 22, No. 3, 3–34. (In Russ.). Available at: <https://mirros.hse.ru/article/view/4988/5348>
17. Belyaeva, L.A. (2020). Generation Y in Russia: social stratification, position in the labor market and problems of political socialization. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecasts*, Vol. 13, No. 4, 220–237. (In Russ.). <https://doi.org/10.15838/esc.2020.4.70.13>
18. Minakir, P.P. (2008). Imaginary and real disproportions of economic space. *Spatial Economics*, No. 4, 5–18. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.14530/se.2008.4.005-018>
19. Bakhtizin, A.R., Bukhvald, E.M., Kolchugina, A.V. (2016). Alignment of Russian regions: program illusions and economic realities. *The Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*, No. 1, 76–91. (In Russ.). Available at: https://vestnik-ieran.ru/archive/2016/vn_2016_1.pdf

20. Kolomak, E.A. (2010). Inter-regional inequality in Russia: Economic and social aspect. *Spatial Economics*, No. 1, 26–35. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.14530/se.2010.1.026-035>
21. Kent, J.L. (2018). Situated practices of strategic planning: an international perspective. *Urban Policy and Research*, Vol. 36, Issue 4, 531–532. <https://doi.org/10.1080/08111146.2018.1483290>
22. Lavrovsky, B.L. (2003). Territorial differentiation and approaches to its weakening in the Russian Federation. *Higher School of Economics Economic Journal*, Vol. 7, No. 4. 524–537. (In Russ.). Available at: https://www.hse.ru/data/2010/12/31/1208182100/07_04_06.pdf
23. Granberg, A.G. (2007). Modeling the spatial development of the national economy. *Region: Economics and Sociology*, No. 1, 87–107. (In Russ.). Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11135346>
24. Malkina, M.Yu. (2015). Assessment of factors of intra-regional differentiation of incomes of the population of the Russian Federation. *Spatial Economics*, No. 3, 97–119. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.14530/se.2015.3.097-119>
25. Zubarevich, N.V. (2019). Inequality of regions and large cities of Russia: what changed in the 2010s. *Social Sciences and Contemporary World*, No. 4, 57–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S086904990005814-7>
26. Suspitsyn, S.A. (2021). A set of methods and procedures for analyzing and forecasting the development of the eastern regions of the Russian Federation. *Region: Economics and Sociology*, No. 3, 3–35. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.15372/REG20210301>
27. Skufina, T.P., Baranov, S.V. (2015). Methods of interregional comparisons: scope and basic principles. *Modern Problems of Science and Education*, No. 2, Part 1, 297. (In Russ.). Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=20573>
28. Lokosov, V.V., Ryumina, E.V., Ulyanov, V.V. (2015). Regional differentiation of indicators of human potential. *Economy of Regions*, No. 4, 185–196. (In Russ.). <https://doi.org/10.17059/2015-4-15>
29. Merkulova, T.V. (2010). Economic growth and inequality: institutional aspect and empirical analysis. *Universe of Russia. Sociology. Ethnology*, Vol. 19, No. 2, 59–77. (In Russ.). Available at: <https://mirros.hse.ru/article/view/5095/5443>
30. Ovcharova, L.N., Popova, D.O., Rudberg, A.M. (2016). Decomposition of income inequality factors in modern Russia. *Journal of the New Economic Association*, No. 3, 170–185. (In Russ.). <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2016-31-3-8>
31. Gershman, B.A. (2009). Income inequality and economic growth: a review of economic research. *Economics of Contemporary Russia*, No. 2, 104–116. (In Russ.). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12841014>
32. Grigoriev, R.A., Kramin, M.V., Kramin, T.V., Timiryasova, A.V. (2015). Inequality in income distribution and economic growth in the regions of Russia in the post-crisis period. *Economy of Regions*, No. 3, 102–113. (In Russ.). <https://doi.org/10.17059/2015-3-9>
33. Nica, H., Xingb, C. (2019). Education expansion, assortative marriage, and income inequality in China. *China Economic Review*, Vol. 55, 37–51. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2019.03.007>
34. Altunbas, Y., Thorntonab, J. (2019). The impact of financial development on income inequality: Aquantile regression approach. *Economics Letters*, Vol. 175, 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.12.030>
35. Liu, C., Jiang, Y., Xie, R. (2019). Does income inequality facilitate carbon emission reduction in the US? *Journal of Cleaner Production*, Vol. 217, 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.242>
36. Afonina, T.N., Lomanov, A.O., Shumetov, V.G. (2018). Assessment of the quality of life of the population of the regions of Central Russia, taking into account the differentiation of monetary incomes. *Regional Economics: Theory and Practice*, Vol. 16, Issue 10, 1976–1994. (In Russ.). <https://doi.org/10.24891/re.16.10.1976>

37. Voinova, V.I. (2021). Approaches to decomposition of income inequality: differences and conditions of application. *Accounting and Statistics*, No. 3, 88–98. (In Russ.). <https://doi.org/10.54220/1994-0874.2021.63.3.010>
38. Ibragimova, Z.F., Frants, M.V. (2018). Income inequality, its subjective perception and influence on the population's psychosocial well-being. *Statistics and Economics*, Vol. 15, No. 4, 52–60. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.21686/2500-3925-2018-4-52-60>
39. Sterman, J.D. (2002). System Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. *Working Paper Series, ESD-WP-2003–01.13-ESD Internal Symposium*. Massachusetts Institute of Technology, Engineering Systems Division, 29 p. Available at: <http://hdl.handle.net/1721.1/102741>
40. Longbin, Z. (2007). *A System Dynamics Based Study of Policies on Reducing Energy Use and Energy Expense for Chinese Steel Industry*. University of Bergen, Department of Geography, 129 p. Available at: https://bora.uib.no/bora-xmlui/bitstream/handle/1956/2363/Masterthesis_Longbin.pdf?sequence=1&isAllowed=y
41. Giampietro, M., Mayumi, K., Sorman, A. (2011). *The Metabolic Pattern of Societies: Where Economists Fall Short*. 1st Edition. London, Routledge, 496 p. Available at: <https://doi.org/10.4324/9780203635926>
42. Fabrizi, E., Trivisano, C. (2016). Small area estimation of the Gini concentration coefficient. *Computational Statistics & Data Analysis*, Vol. 99, 223–234. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2016.01.010>
43. Forrester, J.W. (2016). Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century. *System Dynamic Review*, Vol. 32, Issue 3–4, 187–203. <https://doi.org/10.1002/sdr.1571>
44. Meadows, D.L. (1974). *Dynamics of Growth in a Finite World*. Cambridge, Wright-Allen Press, 637 p. Available at: <https://archive.org/details/dynamicsofgrowth0000unse>
45. Duggan, J. (2016). An Introduction to System Dynamics. In: *System Dynamics Modeling with R. Lecture Notes in Social Networks*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-34043-2_1
46. Richardson, G.P. (1991). *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*. Philadelphia, University of Pennsylvania press, 374 p. Available at: <https://lib.ugent.be/catalog/rug01:000788910>
47. Diemer, A., Nedelciu, C.E. (2020). System Dynamics for Sustainable Urban Planning. In: *Sustainable Cities and Communities*. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Edited by W. L. Filho, A. M. Azul, L. Brandli, P. G. Özuyar, T. Wall. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71061-7_115-1
48. Bala, D.K., Arshad, F.M., Noh, K.M. (2017). *System Dynamics: Modelling and Simulation*. Springer Texts in Business and Economics. Springer, 466 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-2045-2>
49. Kurennoy, D.S., Golembiovsky, D.Yu. (2018). Assessment of the company's default probability based on a system-dynamic model. *Issues of Risk Analysis*, Vol. 15, No. 2, 86–92. (In Russ.). <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2018-15-2-86-92>
50. Goncharova, K.S. (2020). Directions for improving state policy to reduce regional differentiation of incomes. *Tomsk State University Journal of Economics*, No. 49, 28–48. (In Russ.). <https://doi.org/10.17223/19988648/49/3>
51. Shelomentsev, A.G., Goncharova, K.S. (2020). Numerical study of the dependence of the structure of household expenses on their level of income in the context of the concept of self-preservation behavior. *Economy of Regions*, Vol. 16, No. 3, 791–806. (In Russ.). <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-3-9>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vladimir Nikolayevich Timokhin

Doctor of Economics, Professor, Department of “Quality Management”, Russian University of Transport, Moscow, Russia (127994, Moscow, Obraztsova street, 9, building 9); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2729-7046> e-mail: volodya.timokhin@gmail.com

Dmitry Borisovich Berg

Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Basic Department of Big Data Analytics and Video Analysis Methods, Institute of Radioelectronics and Information Technologies, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002, Yekaterinburg, Mira street, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7703-9750> e-mail: bergd@mail.ru

Andrei Gennadievich Shelomentsev

Doctor of Economics, Professor, Department of Business and Economy, Institute of Digital Economy, Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia (628012, Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra, Khanty-Mansiysk, Chekhova street, 16); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1904-9587> e-mail: a.shelom@yandex.ru

ACKNOWLEDGMENTS

The study was financially supported by the Russian Science Foundation as part of a research project № 22-28-01702 «Experimental trajectories of convergence and divergence of Russian population’s spatial income differentiation in the context of adaptation to dynamic changes»

FOR CITATION

Timokhin, V.N., Berg, D.B., Shelomentsev, A.G. (2023). Experimental System-Dynamic Model of an Influence of a Level of Education on a Spatial Differentiation of a Population of Russian Regions. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 22, No. 4, 861–891. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2023.22.4.035>

ARTICLE INFO

Received November 2, 2022; Revised March 28, 2023; Accepted November 3, 2023.

