

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИГР И СТАТИСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Агеев Петр Владимирович

Выпускная квалификационная работа бакалавра

**Имитационная модель функционирования домашних
хозяйств в субъектах РФ**

**The simulation model of the household's functioning
in Russian regions**

Направление 010400

Прикладная математика и информатика

Научный руководитель,
кандидат физ.-мат. наук,
доцент
Тарашнина С.И.

Санкт-Петербург

2016

Содержание

Введение	3
Обзор литературы	5
Глава 1. Методологическая база исследования	7
1.1. Формализация и этапы решения задачи	11
Глава 2. Разработка концептуальной модели	14
2.1. Концептуальная модель	14
Глава 3. Описание математической модели	22
3.1. Общая логика построения математической модели	22
3.1.1. Блок «Производственная функция»	23
3.1.2. Модуль «Рынок трудовых ресурсов»	24
3.1.3. Блок «Доходы населения»	27
3.1.4. Блок «Расходы населения»	31
3.1.5. Модуль «Потребительский рынок»	34
3.1.6. Блок «Основные фонды»	36
3.2. Оценка качества математической модели	37
Глава 4. Построение имитационной модели	40
Глава 5. Проведение экспериментов	45
5.1. Пессимистичный прогноз	45
5.2. Оптимистичный прогноз	50
Выводы	57
Заключение	59

Введение

Повышению эффективности региональной политики способствует применение научного подхода к принятию решений и выбору стратегий достижения установленных целей. Определить важнейшие направления, пути и факторы развития экономической системы и предусмотреть все возможные варианты и минимизировать риск развития кризисных ситуаций позволяет наличие достоверного прогноза последствий тех или иных управленческих решений. Для этого требуется создание специальных инструментов, которые бы позволяли органам государственной власти различных субъектов РФ осуществлять обоснованное прогнозирование принимаемых решений [1]. Главной частью такого инструмента должна являться экономико-математическая модель развития региональной экономики, которая давала бы возможность в перспективе оценить границы роста или снижения различных показателей, характеризующих экономическое состояние субъекта прогнозирования. Концепция этой модели должна базироваться на региональном производственном процессе, в котором потребление, производство, распределение и обмен образуют взаимодополняющее множество. В связи с этим построение модели функционирования домашних хозяйств, которая является одним из блоков общей модели регионального экономического развития, является актуальной и востребованной задачей.

На сегодняшний день существует огромное количество бумажных и электронных источников, которые посвящены применению математического аппарата, а также различных методов моделирования для анализа и прогнозирования экономических процессов. Но стоит заметить, что, в основном, там рассматривается лишь сугубо теоретическая сторона вопроса, либо узконаправленные решения определенных проблем.

Постановка задачи

Целью исследования является создание имитационной модели домашних хозяйств субъектов РФ, описывающей процессы жизнедеятельности домохозяйств и их взаимодействия с другими сферами региональной экономики.

Под домашним хозяйством понимается совокупность лиц, которые проживают в одном жилом помещении или его части, как связанных, так и не связанных родством, совместно обеспечивающих себя всем необходимым для жизни, полностью или частично объединяя и расходуя свои средства. Домашнее хозяйство может состоять и из одного человека, живущего самостоятельно.

Данное исследование предполагает решение следующих задач:

1. разработку экономико-математической модели домашних хозяйств Санкт-Петербурга;
2. реализацию с использованием специализированного программного обеспечения имитационной модели, позволяющей осуществлять прогнозирование динамики социально-экономических показателей на среднесрочную перспективу;
3. проведение экспериментов с использованием построенной имитационной модели и построение прогноза динамики региональных социально-экономических показателей функционирования домохозяйств по реальным данным.

Обзор литературы

Анализ современной литературы, посвященной прогнозированию в экономических и управленческих задачах, показал, что существует два основных подхода к моделированию экономического развития. Согласно первому, необходимо выявить закономерности и взаимосвязи между различными отчетными показателями и описать их эконометрическими уравнениями и тождествами, а также применить производственные функции, связывающие экономический рост с динамикой факторов производства [1, 2, 3]. В этом случае экономика представляется как единая система, для которой входными параметрами являются ресурсы, а выходным – показатель производства в форме валового выпуска или валового регионального продукта. Второй подход предполагает описание производства и потребления с использованием многосекторных моделей и межотраслевого баланса [4, 5, 6]. Оба подхода применяются для изучения различного рода экономических процессов и явлений.

Что касается прогнозных исследований, то их можно разделить на два основных вида: 1) сценарное прогнозирование, при котором по заданным значениям управляющих параметров рассчитываются траектории развития показателей; 2) индикативное планирование, при котором по множеству индикаторов с заданными значениями рассчитываются управленческие воздействия субъектов региона, который приводит к необходимому результату [5]. Кардинальная разница этих двух видов в том, что в первом случае прогнозирование нацелено на предсказание экономической ситуации, а во втором – основное ударение делается на способы повышения эффективности управленческих решений, анализ реальных возможностей достижения желаемых целей, а также строгое обоснование их осуществимости. Другими словами, индикативное планирование утверждает, что не нужно предсказывать то, чем можно управлять, гораздо лучше выявлять проблемы и искать эффективные решения [5].

Анализ различных источников показал, что процесс моделирования можно разделить на 3 основных этапа: 1) концептуальное моделирование; 2) математическое моделирование; 3) имитационное моделирование [7]. На первом этапе производится формирование описательной модели исследуемого объекта, при этом изучаемая реальность сводится к сфере действия какого-то универсального закона, к примеру, межотраслевых балансов. На втором этапе записываются модельные отношения между параметрами в виде математических формул в рамках одной из экономических теорий. На третьем этапе по результатам построения математической модели строится ее компьютерный аналог, на котором непосредственно и проводятся эксперименты.

Глава 1. Методологическая база исследования

В качестве методологической базы исследования используется теория моделирования, которая представляет собой совокупность различных методов построения, изучения, изменения моделей, а также некоторых положений и правил создания.

Теория моделирования, как и любая научная дисциплина, имеет свои основные понятия и принципы, знание которых необходимо для дальнейшего понимания материала, представленного в настоящем исследовании. Моделированием называется процесс построения и изучения модели, а также анализ всей системы на основе построенной модели. Внешней средой в теории моделирования называется множество различных элементов, которые оказывают воздействия на те или иные части модели извне. Под моделью объекта понимается некоторый виртуальный образ реального объекта, создаваемый для его изучения. Оригиналом называется объект, на изучение которого направлена исследовательская деятельность.

Домашние хозяйства и механизмы их взаимодействия с другими субъектами экономики являются объектом изучения. Все это представляет собой очень сложную систему, в связи с чем для проведения экспериментальных исследований необходимо разработать модель с набором определенных свойств. Под свойством понимается некоторая характерная особенность объекта, которая может быть оценена каким-либо образом. В данной работе под основными свойствами объекта исследования понимаются экономические характеристики домашних хозяйств.

Множество функциональных зависимостей и отношений используется для моделирования поведения системы и взаимодействия между основными компонентами. Для более полного изучения реальной системы строятся явные зависимости, связывающие параметры этой модели с факторами их изменения и начальными условиями анализа. А учитывая, что в экономической сфере существенная часть зависимостей носит не

детерминированный, а стохастический характер, для определения этих зависимостей используются методы корреляционно-регрессионного анализа.

Целью корреляционного анализа является установление наличия связи между исследуемыми показателями, а также определение ее структуры и тесноты. Статистической характеристикой, измеряющей направление и степень тесноты связи между двумя показателями при предположении о ее линейном характере, является коэффициент парной корреляции, рассчитываемый по формуле

$$r_{xy} = \frac{\sum_{t=1}^T (x_t - \bar{x}) \times (y_t - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (x_t - \bar{x})^2 \times \sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y})^2}},$$

где r_{xy} – значение парного коэффициента корреляции,

x_t и y_t – значения исследуемых показателей в момент времени t ($t = \overline{1, T}$),

\bar{x} и \bar{y} – средние значения исследуемых показателей.

Значения коэффициента парной корреляции принадлежат промежутку от -1 до 1. Отрицательное значение коэффициента говорит об обратной связи между показателями, положительное значение – о прямой связи; чем абсолютная величина ближе к единице, тем более сильный характер имеет эта связь.

На построение аналитического выражения связи между показателями направлены методы регрессионного анализа. Регрессия – зависимость значений одной случайной величины (объясняемой, зависимой переменной) от другой или нескольких других величин (факторов, независимых переменных). Регрессионная зависимость в общем случае имеет вид

$$y = f(W, X) + e,$$

где y – зависимая переменная,

X – вектор независимых переменных,

f – функция регрессионной зависимости,

W – вектор параметров функции f ,

e – случайная переменная (регрессионный остаток).

В задачи регрессионного анализа входит определение вида функции f и оценка значений вектора параметров W .

В случае, если функция зависимости f является линейной относительно факторов:

$$y_t = w^{(0)} + w^{(1)} \times x_t^{(1)} + \dots + w^{(n)} \times x_t^{(n)}$$

(где n – число факторов), регрессионная модель называется линейной.

Если n равно 1, то говорят о парной линейной регрессии, если n больше 1, то модель линейной регрессии называется множественной.

Параметр $w^{(0)}$ называется константой, т. к. на его вклад в зависимую переменную не влияют значения факторов. Соответственно, линейные регрессионные модели подразделяются на модели с константой (параметр $w^{(0)}$ включен в модель) и на модели без константы (параметр $w^{(0)}$ исключен).

Вектор параметров W подбирается таким образом, чтобы модель наилучшим образом приближала исходные данные по определенному критерию. Для нахождения вектора параметров линейной регрессии наиболее часто применяется метод наименьших квадратов, в основу которого заложен критерий минимума суммы квадратов отклонения наблюдаемых значений зависимой переменной от модельных:

$$F = \sum_{t=1}^T (y_t - (w^{(0)} + \sum_{i=1}^n w^{(i)} \times x_t^{(i)}))^2. \quad (1)$$

Далее приводится схема нахождения значений параметров $w^{(0)}, w^{(1)}, \dots, w^{(n)}$, которые обеспечивают минимум функционала (1), для ситуации парной линейной регрессии. В этом случае функционал (1) записывается следующим образом:

$$F = \sum_{t=1}^T (y_t - (w^{(0)} + w^{(1)} \times x_t))^2. \quad (1')$$

Условием минимума функционала (1') является равенство нулю его первых частных производных по оцениваемым параметрам:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial w^{(0)}} = -2 \times \sum_{t=1}^T (y_t - (w^{(0)} + w^{(1)} \times x_t)) = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial w^{(1)}} = -2 \times \sum_{t=1}^T (y_t - (w^{(0)} + w^{(1)} \times x_t)) \times x_t^{(1)} = 0. \end{cases}$$

Отсюда система нормальных уравнений для нахождения оценок параметров парной линейной регрессии имеет вид

$$\begin{cases} w^{(0)}T + w^{(1)} \sum_{t=1}^T x_t = \sum_{t=1}^T y_t, \\ w^{(0)} \sum_{t=1}^T x_t + w^{(1)} \sum_{t=1}^T x_t^2 = \sum_{t=1}^T y_t x_t. \end{cases} \quad (2)$$

Решение системы (2) дает искомые оценки параметров $w^{(0)}$ и $w^{(1)}$.

В случае если между рассматриваемыми показателями существует нелинейная связь, используется нелинейная функция регрессионной зависимости f . Различают два класса нелинейных регрессионных моделей:

- 1) линейные относительно оцениваемых параметров;
- 2) нелинейные относительно оцениваемых параметров.

Нелинейные модели первого класса, к которым относятся, например, квадратичная и гиперболическая модели, с помощью замены переменных приводятся к линейному виду. Для нахождения оценок параметров линеаризованных моделей применяют те же методы, что и в случае линейной регрессии (например, метод наименьших квадратов).

Модели второго класса делятся на два подкласса:

- 1) внутренне линейные;
- 2) внутренне нелинейные.

Нелинейные по факторам и параметрам, но внутренне линейные модели линеаризуются путем соответствующих преобразований (например, степенная и показательная модели приводятся к линейному виду операцией логарифмирования обеих частей уравнения и дальнейшим использованием свойств логарифма). Внутренне нелинейные функции невозможно линеаризовать, поэтому для оценивания их параметров применяют различные численные методы.

После построения регрессионной модели необходимо оценить ее адекватность, для чего используют критерий Фишера (F -тест), позволяющий установить статистическую значимость модели в целом, и критерий Стьюдента (t -тест), служащий для определения значимости каждого параметра модели в отдельности. Важной характеристикой качества регрессионной модели является коэффициент детерминации R^2 , показывающий, какая доля изменения зависимой переменной объясняется изменением включенных в модель факторов. Дополнительной характеристикой, служащей для оценивания качества построенной модели, является средняя ошибка аппроксимации ($MAPE$):

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{y_t}}{T} \times 100\%,$$

где \hat{y}_t – расчетное значение по уравнению.

В данном исследовании корреляционно-регрессионный анализ проводился с помощью пакета «Анализ данных» MS Excel, в котором оценка параметров регрессионной модели осуществляется методом наименьших квадратов.

1.1. Формализация и этапы решения задачи

Задачу создания имитационной модели домашних хозяйств субъектов РФ в терминах теории имитационного моделирования можно сформулировать и декомпозировать следующим образом.

На первом этапе изучается объект исследования, за который принимаются домашние хозяйства, и устанавливается общая структура модели, т.е.:

- выделяются основные компоненты объекта исследования;
- определяются их ключевые характеристики;
- выявляются и описываются связи, через которые происходит взаимодействие.

На втором этапе проводится построение математической модели изучаемого объекта. Под этим подразумевается задание переменных, определение параметров, выявление функциональных зависимостей и определение начальных условий.

Пусть

k – число входных переменных модели,

s – число сценарных переменных модели,

l – число выходных переменных модели,

m – число переменных модели.

Обозначим через

X – вектор входных переменных модели, $X \in R^k$;

Y – вектор сценарных переменных модели, $Y \in R^s$;

Z – вектор выходных переменных модели, $Z \in R^l$;

t – период прогнозирования.

На множестве (X, Y, Z, t) определяется общий вид функциональной зависимости

$$F(X, Y, Z, t) = 0.$$

На третьем этапе разрабатывается и реализовывается имитационная модель при помощи специализированного программного обеспечения на основе построенной математической модели.

Основные этапы решения поставленной задачи представляются следующим образом (рис. 1).

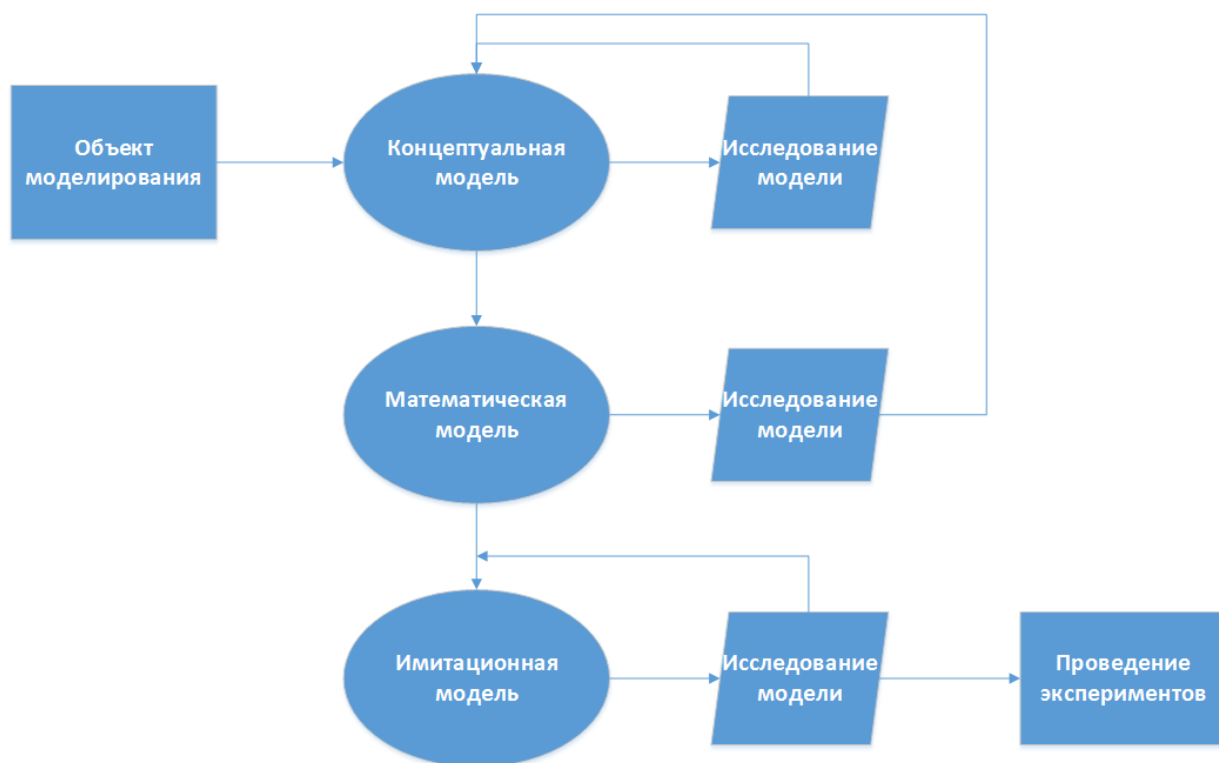


Рис. 1. Этапы построения решения.

Согласно схеме решения поставленной задачи, разработка имитационной модели предполагает последовательное построение концептуальной и математической моделей.

Практическая часть решения задачи создания имитационной модели домохозяйств на основе данной концепции и методологической базы поэтапно описана в последующих главах.

Глава 2. Разработка концептуальной модели

Концептуальной моделью называется логико-математическое описание моделируемой системы.

При этом существует широкое разнообразие подходов и способов для построения данного вида модели, а также вариантов представления результатов. Чаще всего на этапе концептуального описания модели определяется основная структура строящейся модели, определяются границы модели, описывается внешняя среда, а также устанавливается ее влияние на элементы и на всю модель в целом. Таким образом, производится переход от реальной системы к её логической схеме, формирующей общий смысл модели.

Как правило, в концептуальную модель входят структура моделируемого процесса, некоторые характеристики и свойства основных элементов модели, правила, по которым осуществляется связь между различными элементами модели. В настоящем исследовании концептуальная модель представлена в виде схемы, однако, это не единственно возможный способ ее представления, также применяются графики, таблицы и текстовое описание.

Концептуальная модель представляет собой базу для разработки математической модели, поскольку влияние различных факторов на целевые показатели и его качественное описание происходит именно на данном этапе моделирования.

2.1. Концептуальная модель

В разрабатываемой модели необходимо учесть влияние друг на друга трех основных секторов региональной экономики: государственного, производственного и потребительского. Взаимное влияние рассматриваемых секторов выражается в направлении материальных, финансовых и трудовых потоков. Например, взаимодействие государственного сектора с

потребительским, к которому относятся домашние хозяйства, характеризуется направлением финансовых потоков, потребительского и производственного секторов – направлением потока трудовых ресурсов в одну сторону и потока произведенных товаров и услуг в другую сторону.

Направление финансовых потоков осуществляется посредством государственного бюджета. Доходы бюджета формируются на основе налоговых и неналоговых поступлений, а также безвозмездных перечислений. Региональный бюджет РФ более чем на 90% формируется за счет налоговых поступлений, основными из которых являются: НДС (составляет примерно 45% всех поступлений в бюджет), акцизные сборы, таможенные сборы, налог на прибыль [8]. К доходам населения относятся: оплата труда, доходы от предпринимательской деятельности и собственности, социальные выплаты, другие доходы (включая "скрытые", от продажи валюты, денежные переводы и пр.). Основную часть доходов производственной сферы составляют доходы от реализации произведенных товаров и услуг.

Оценка экономического развития региона осуществляется на основе валового регионального продукта (ВРП). Этот макроэкономический показатель занимает центральное положение в Системе региональных счетов – региональном аналоге Системы национальных счетов (общепризнанной основы макроэкономических измерений и оценок). ВРП выступает в качестве результирующего показателя эффективности экономической деятельности региона и основного показателя, который отражает достигнутый уровень экономического роста.

Общая концептуальная схема решения представлена в виде модулей и блоков, связанных между собой, и выглядит следующим образом (рис. 2).

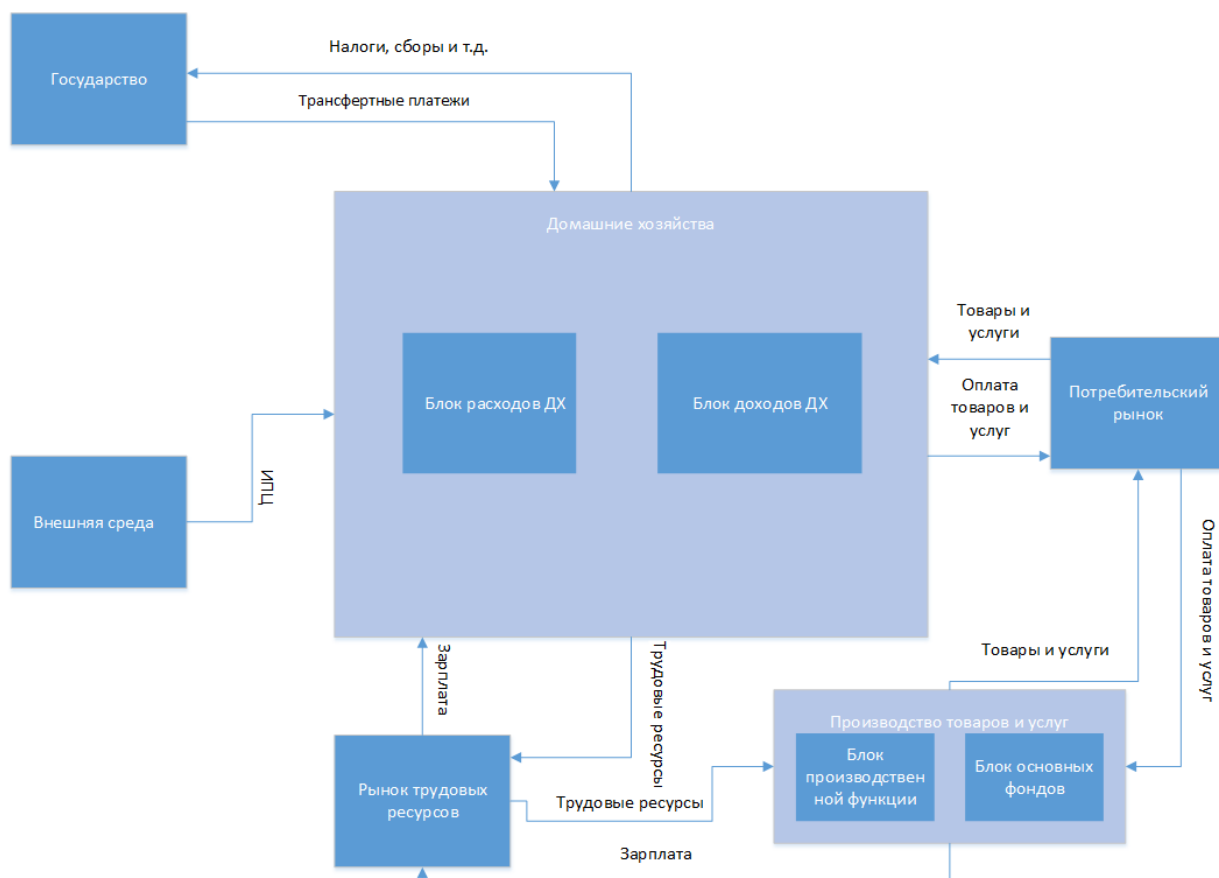


Рис. 2. Концептуальная модель

Далее в таблицах представлены перечни показателей, характеризующих каждый модуль. Некоторые модули разбиты на блоки. Участие государства в функционировании домашних хозяйств (ДХ) учтено в блоках доходов и расходов населения. Показатели, характеризующие каждый элемент концептуальной модели, представлены в таблицах 1-7.

Таблица 1. Блок «Количественный состав ДХ»

Наименование показателя	Единицы измерения	Обозначение	Тип
Количество домохозяйств	шт.	K	входной
Взвешенное число наличных членов домашних хозяйств	чел.	W	входной
Численность постоянного населения	чел.	N	выходной

Таблица 2. Блок «Доходы населения»

Наименование показателя	Единицы измерения	Обозначение	Тип
ВРП	млрд. руб.	GRP	входной
Фонд оплаты труда	млрд. руб.	P	выходной
Доходы от предпринимательской деятельности	млрд. руб.	$I_{\text{предп. деят.}}$	выходной
Общие доходы	млрд. руб.	I	выходной
Доходы от собственности	млрд. руб.	$I_{\text{собст.}}$	выходной
Социальные выплаты	млрд. руб.	$I_{\text{соц. выпл.}}$	выходной
Другие доходы	млрд. руб.	$I_{\text{др.}}$	выходной
Среднедушевые доходы	руб./месяц	$I_{\text{ср.}}$	выходной
Реальные доходы	% к предыдущему году	$I_{\text{реал.}}$	выходной
Средний размер назначенных пенсий	руб./месяц	$I_{\text{ср. пенс.}}$	выходной
Реальный размер назначенных пенсий	% к предыдущему году	$I_{\text{реал.пенс.}}$	выходной
Индекс потребительских цен	% к предыдущему году	CPI	сценарный
Темп роста численности постоянного населения	% к предыдущему году	E_N	сценарный
Тем роста социальных выплат	% к предыдущему году	$E_{\text{соц. выпл.}}$	сценарный
Численность постоянного населения	чел.	N	входной
Индекс-дефлятор ВРП	% к предыдущему году	$Ind_{\text{ВРП}}$	сценарный

Таблица 3. Блок «Расходы населения»

Наименование показателя	Единицы измерения	Обозначение	Тип
Фонд оплаты труда	млрд. руб.	P	входной
Расходы на покупку товаров	млрд. руб.	$C_{\text{пок. тов.}}$	выходной
Общие расходы	млрд. руб.	C	выходной
Общие доходы	млрд. руб.	I	входной
Расходы на оплату услуг	млрд. руб.	$C_{\text{опл. усл.}}$	выходной
Расходы на обязательные платежи и взносы	млрд. руб.	$C_{\text{об.пл.и вз.}}$	выходной
Прочие расходы	млрд. руб.	$C_{\text{пр.}}$	выходной

Таблица 4. Блок «Производственная функция»

Наименование показателя	Единицы измерения	Обозначение	Тип
ВРП	млрд. руб.	GRP	выходной
Численность занятых в экономике	чел.	$S_{\text{зан. в эк.}}$	входной
Полная стоимость основных фондов	млрд. руб.	F	входной
Технологический коэффициент		A	входной
Коэффициент эластичности по труду		α	входной
Коэффициент эластичности по капиталу		β	входной
Индекс-дефлятор ВРП	% к предыдущему году	$Ind_{\text{ВРП}}$	сценарный

Таблица 5. Блок «Основные фонды»

Наименование показателя	Единицы измерения	Обозначение	Тип
ВРП	млрд. руб.	GRP	входной
Поступления основных фондов	млрд. руб.	E	выходной
Выбытие основных фондов	млрд. руб.	R	сценарный
Полная стоимость основных фондов	млрд. руб.	F	выходной
Остаточная стоимость основных фондов	млрд. руб.	F_H	выходной

Таблица 6. Модуль «Рынок трудовых ресурсов»

Наименование показателя	Единицы измерения	Обозначение	Тип
Численность трудоспособного населения в трудоспособном возрасте	чел.	$S_{\text{тр. в тв}}$	выходной
Численность занятых в экономике	чел.	$S_{\text{зан. в эк.}}$	выходной
Численность трудоспособного населения	чел.	$S_{\text{тр. нас.}}$	выходной
Численность работающих пенсионеров	чел.	$S_{\text{раб. пенс.}}$	выходной
Численность работающих подростков	чел.	$S_{\text{раб. подр.}}$	выходной
Численность иностранных трудовых мигрантов	чел.	$S_{\text{ин. мигр.}}$	выходной
Численность трудовых ресурсов	чел.	S	выходной
Численность постоянного населения	чел.	N	входной
Доля трудоспособного населения от общей численности	%	$q_{\text{тр. нас.}}$	сценарный
Порядковый номер рассматриваемого года		k	входной
Темп роста численности постоянного населения	% к предыдущему году	E_N	сценарный

Таблица. 7. Модуль «Потребительский рынок»

Наименование показателя	Единицы измерения	Обозначение	Тип
Количество домохозяйств	шт.	K	входной
Взвешенное число наличных членов домашних хозяйств	чел.	W	входной
Численность постоянного населения	чел.	N	выходной
Расходы на покупку товаров	млрд. руб.	$C_{\text{пок. тов.}}$	входной
Объем розничного товарооборота	млрд. руб.	$V_{\text{розн. тов.}}$	выходной
Объем розничного товарооборота в сопоставимых ценах	% к предыдущему году	$V_{\text{розн. тов. в сц}}$	выходной
Объем общественного питания	млрд. руб.	$V_{\text{общ пит.}}$	выходной
Расходы на оплату услуг	млрд. руб.	$C_{\text{опл. усл.}}$	входной
Объем общественного питания в сопоставимых ценах	% к предыдущему году	$V_{\text{общ пит. в сц}}$	выходной
Объем платных услуг населению	млрд. руб.	$V_{\text{пл. усл. нас.}}$	выходной
Объем платных услуг населению в сопоставимых ценах	% к предыдущему году	$V_{\text{пл. усл. нас. в сц}}$	выходной
Индекс потребительских цен	% к предыдущему году	CPI	сценарный

В модуле «Производство товаров и услуг» происходит расчет объема ВРП, а также стоимости основных фондов. Для расчета ВРП из модуля «Рынок трудовых ресурсов» поступает численность занятых в экономике, а из блока «Основные фонды» полная стоимость основных фондов организаций. Часть ВРП поступает домохозяйствам в виде оплаты труда, которая расходуется на потребительском рынке на оплату услуг, покупку товаров и на общественное питание. Таким образом, осуществляется связь

доходов домашних хозяйств с потребительским рынком через блок «Расходы населения». Также часть ВРП, созданного в предыдущий период, поступает в основные фонды организаций в виде инвестиций.

Влияние внешней среды учитывается посредством ввода в модель индекса потребительских цен, подверженного влиянию политической и внешнеэкономической ситуации в регионе и стране.

В итоге, получена концептуальная модель, учитывающая причинно-следственные связи и состоящая из взаимосвязанных модулей и блоков, оказывающих влияние друг на друга через общие переменные.

Глава 3. Описание математической модели

В данной главе приводится математическая модель исследуемой системы, которая предполагает ее формальное описание на математическом языке, а также представление математических соотношений, неравенств и уравнений, описывающих основные закономерности, присущие данной системе.

3.1. Общая логика построения математической модели

Математическая модель состоит из шести взаимосвязанных блоков и модулей:

1. Модуль «Домашние хозяйства»:
 - Блок «Расходы населения»;
 - Блок «Доходы населения»;
2. Модуль «Производство товаров и услуг»:
 - Блок «Производственная функция»;
 - Блок «Основные фонды»;
3. Модуль «Рынок трудовых ресурсов»;
4. Модуль «Потребительский рынок».

Управление моделью осуществляется с помощью сценарных параметров, задаваемых на прогнозном периоде экспертным путем:

1. Темп роста численности постоянного населения (% к предыдущему году);
2. Доля трудоспособного населения от общей численности (%);
3. Индекс потребительских цен (% к предыдущему году);
4. Коэффициент выбытия основных фондов (%);
5. Индекс-дефлятор ВРП (% в к предыдущему году);
6. Темп роста социальных выплат (% к предыдущему году).

Далее представлено описание процесса разработки модельных зависимостей. Для построения моделей были использованы ежегодные

данные с 2005 по 2014 год по Санкт-Петербургу, предоставленные Петростатом.

Стоит отметить, что все полученные коэффициенты являются значимыми по критерию Стьюдента и модель значима в целом по критерию Фишера на уровне значимости 5%.

3.1.1. Блок «Производственная функция»

В качестве основной характеристики экономического состояния региональной экономики используется показатель валового регионального продукта. Для определения данного показателя используется производственная функция Кобба-Дугласа, которая в общем виде представляется следующим образом:

$$Q = A \times L^{\alpha} \times K^{\beta} \quad (3)$$

где Q – объем производства; L – затраты труда; K – затраты капитала; A – технологический коэффициент, показывающий пропорциональность всех функций; α – коэффициент эластичности объема производства по затратам труда, $\alpha \geq 0$; β – коэффициент эластичности объема производства по затратам капитала, $\beta \geq 0$.

Также производственную функцию (3) можно представить и в другом виде:

$$\ln(Q) = \ln(A) + \alpha \times \ln(L) + \beta \times \ln(K) .$$

В рассматриваемой задаче в качестве фактора труд взята численность занятых в экономике; в качестве капитала – полная учетная стоимость основных фондов на начало периода.

Производственная функция выглядит следующим образом:

$$GRP(t) = 0,00009 \times S_{\text{зан.в эк.}}^{1,7}(t) \times F^{0,7}(t).$$

На рис. 3 представлены фактические и модельные значения ВРП.

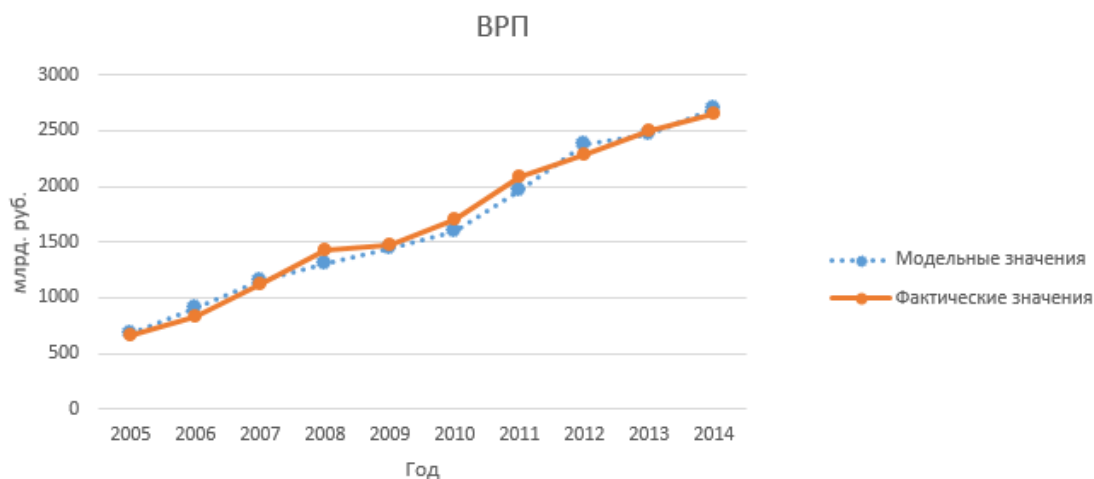


Рис. 3. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 4,4%, и коэффициент детерминации, равный 0,98. Полученные значения свидетельствуют о высоком качестве построенной модели.

3.1.2. Модуль «Рынок трудовых ресурсов»

Численность трудоспособного населения вычисляется как доля от общей численности населения:

$$S_{\text{тр. нас.}}(t) = q_{\text{тр. нас.}}(t) \times N(t),$$

где $q_{\text{тр.нас.}}$ задается сценарно.

На рис. 4 представлены фактические и модельные значения численности трудоспособного населения.

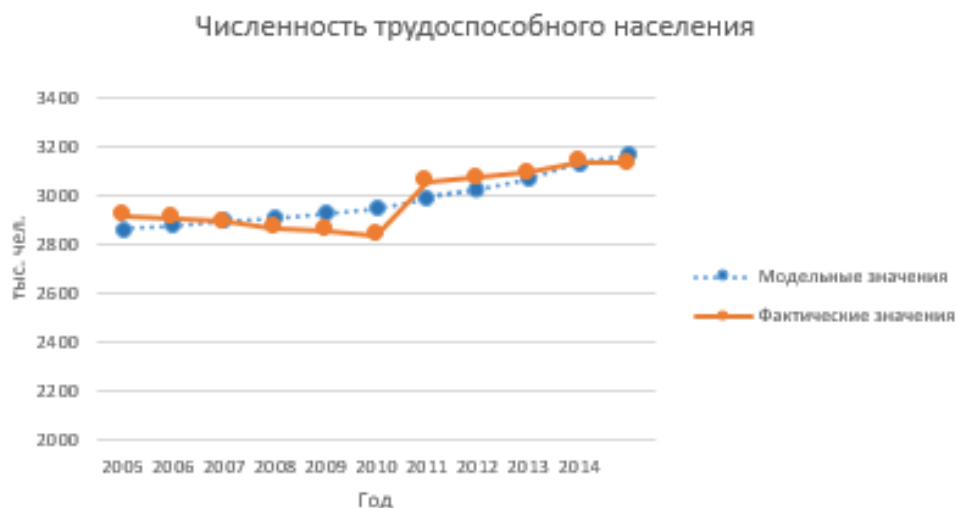


Рис. 4. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 1,6%, и коэффициент детерминации, равный 0,94.

Численность трудоспособного населения в трудоспособном возрасте зависит от численности трудоспособного населения. Регрессионное уравнение выглядит следующим образом:

$$S_{\text{тр. в тв}}(t) = 1,36 \times S_{\text{тр. нас.}}(t) - 1024,1.$$

На рис. 5 изображены фактические и модельные значения трудоспособного населения в трудоспособном возрасте.



Рис. 5. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 0,7%, и коэффициент детерминации, равный 0,97.

Численность работающих пенсионеров определяется по формуле:

$$S_{\text{раб. пенс.}}(t) = 1,02 \times k(t) + 238,58,$$

где $k(t)$ – порядковый номер рассматриваемого года и определяется из таблицы 9.

Таблица 9. Определение порядкового номера

Год	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Порядковый номер	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Для оценки качества построенной трендовой зависимости рассчитана средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 2%.

Численность работающих подростков вычисляется по формуле:

$$S_{\text{раб. подр.}}(t) = -0,015 \times k(t) + 1,312,$$

где $k(t)$ – порядковый номер текущего года, определяемый по таблице 9.

Численность иностранных трудовых мигрантов описывается следующим выражением:

$$S_{\text{ин. мигр.}}(t) = 23,1 \times k(t) + 85,8,$$

где $k(t)$ – порядковый номер рассматриваемого года, определяемый по таблице 9.

На рис. 7 представлены фактические и модельные значения численности иностранных трудовых мигрантов

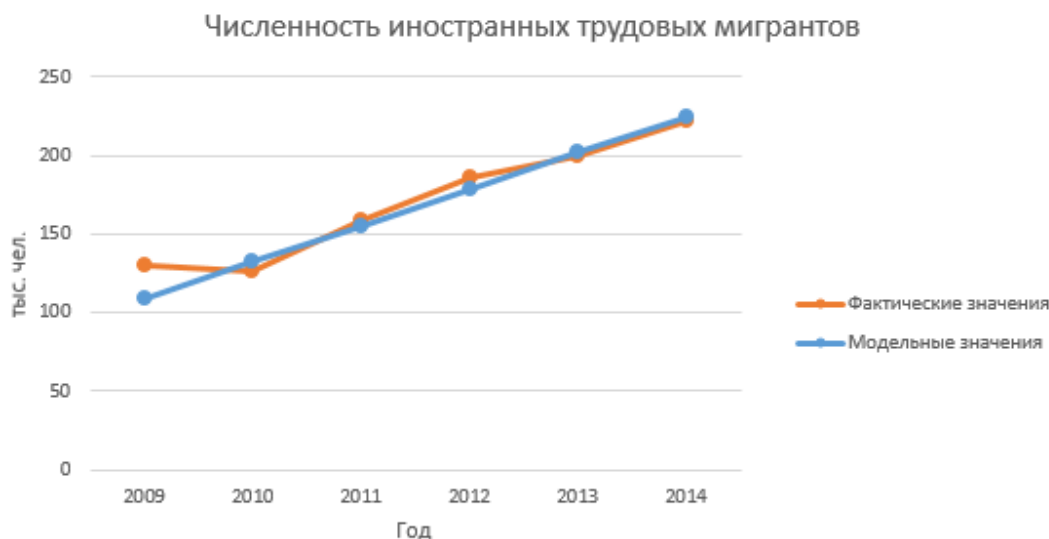


Рис. 7. График фактических и модельных значений

При этом средняя ошибка аппроксимации равна 2,6%.

Общая численность трудовых ресурсов вычисляется по формуле:

$$S(t) = S_{\text{тр. в тв}}(t) + S_{\text{ин. мигр.}}(t) + S_{\text{раб. пенс.}}(t) + S_{\text{раб. подр.}}(t).$$

В производственную функцию передается численность занятых в экономике, регрессионное уравнение которой выглядит следующим образом:

$$S_{\text{зан. в эк.}}(t) = 0,23 \times S(t) + 1993,76.$$

На рис. 8 представлены фактические и модельные значения.



Рис.8. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 0,6%, и коэффициент детерминации, равный 0,81.

3.1.3. Блок «Доходы населения»

Общая структура доходов представлена в таблице 10.

Таблица 10. Доходы населения в процентных составляющих

Наименование	Год							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1. Оплата труда	58	64	60	61	61	61	60	59
2. Социальные трансферты	13	14	16	19	19	20	20	18
3. Доходы от собственности	10	8	7	8	7	8	9	11
4. Доходы от предпринимательской деятельности	4	3	3	3	3	2	2	2
5. Другие доходы	15	11	14	9	10	9	9	10
6. Общие доходы	100	100	100	100	100	100	100	100

Установлено, что основную часть доходов составляют доходы от оплаты труда, от собственности и социальные трансферты, которым и стоит уделить основное внимание.

Уравнение линейной регрессии для *оплаты труда* выглядит следующим образом:

$$P(t) = 0,38 \times GRP(t) + 21130,6.$$

На рис. 9 представлены фактические и модельные значения фонда оплаты труда.



Рис. 9. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, равная 3,5%, и коэффициент детерминации, равный 0,99.

Доходы от предпринимательской деятельности описываются нелинейным регрессионным уравнением:

$$I_{\text{предп. деят.}}(t) = 2,13 \times \ln(GRP(t)) - 283,4 \times Ind_{\text{ВРП}}(t) + 60279,58,$$

где $Ind_{\text{ВРП}}$ на прогнозном периоде задается сценарно.

На рис.10 изображены фактические и модельные значения доходов от предпринимательской деятельности.



Рис. 10. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, которая не превышает 2,3%, и коэффициент детерминации, равный 0,81.

Доходы от собственности описываются следующей зависимостью:

$$I_{\text{собст.}}(t) = 0,047 \times GRP(t) + 10502,01.$$

На рис. 11 представлены фактические и модельные значения доходов от собственности.



Рис. 11. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной модели рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 9%, и коэффициент детерминации, равный 0,79.

Доходы от социальных выплат определены через темп роста социальных выплат, которые задаются экспертным путем на прогнозируемом периоде. Полученное выражение представлено следующим соотношением:

$$I_{\text{соц. выпл.}}(t) = \left(1 + \frac{E_{\text{соц.выпл.}}(t)}{100}\right) \times I_{\text{соц. выпл.}}(t - 1),$$

где $E_{\text{соц.выпл.}}(t)$ задается сценарно.

Далее получим выражение для *общего объема доходов населения*, которое выглядит следующим образом:

$$I(t) = 1,84 \times P(t) + 109550,4.$$

На рис.12 изображены фактические и модельные значения общего объема доходов населения.

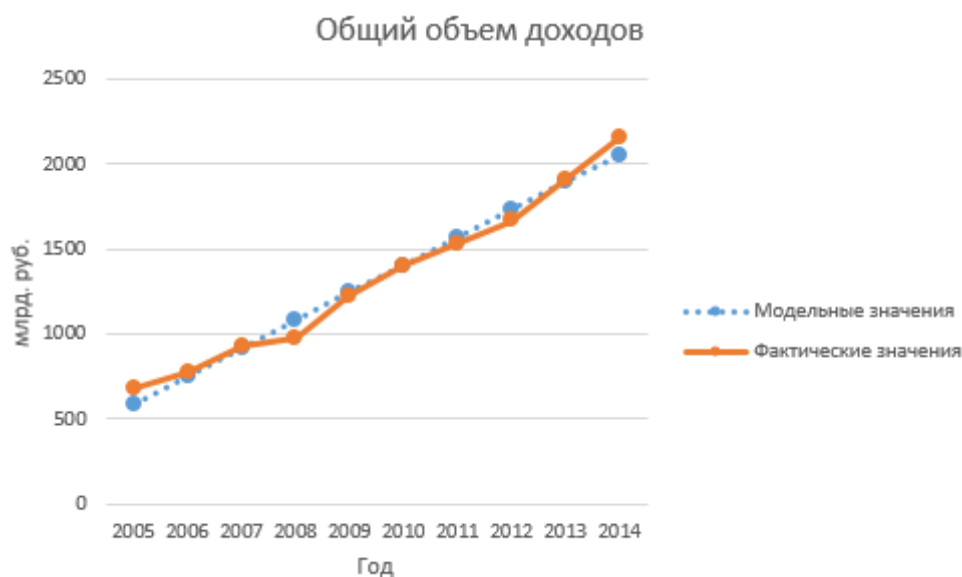


Рис. 12. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной модели рассчитаны средняя ошибка аппроксимации на отчетных данных, значение которой составляет 6%, и коэффициент детерминации, равный 0,97.

Другие доходы, не вошедшие в предыдущие группы, описываются следующим выражением:

$$I_{\text{др.}}(t) = I(t) - P(t) - I_{\text{предп. деят.}}(t) - I_{\text{собст.}}(t) - I_{\text{соц. выпл.}}(t).$$

Среднедушевые денежные доходы (в месяц) определяются из соотношения:

$$I_{\text{ср.}}(t) = \frac{I(t)}{\frac{S_{\text{ср.}}(t)}{12}},$$

где $S_{\text{ср.}}(t)$ – среднегодовая численность населения, вычисляемая по формуле:

$$S_{\text{ср.}}(t) = \frac{N(t) + N(t - 1)}{2}.$$

Реальные денежные доходы населения, измеряемые в процентах, вычисляются по формуле:

$$I_{\text{реал.}}(t) = \frac{I_{\text{ср.}}(t)}{\frac{I_{\text{ср.}}(t-1)}{CPI(t)}} \times 10000.$$

Средний размер назначенных пенсий определяется следующим образом:

$$I_{\text{ср. пенс.}}(t) = 0,035 \times I_{\text{соц. выпл.}}(t) + 932,9.$$

На рис. 13 представлены фактические и модельные значения среднего размера назначенных пенсий



Рис. 13. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 4,2%, и коэффициент детерминации, равный 0,99.

Реальный размер назначенных пенсий определяется из соотношения:

$$I_{\text{реал.пенс.}}(t) = \frac{I_{\text{ср. пенс.}}(t)}{\frac{I_{\text{ср. пенс.}}(t-1)}{CPI(t)}} \times 10000,$$

где $CPI(t)$ — индекс потребительских цен в году t .

3.1.4. Блок «Расходы населения»

Общий объем расходов населения описывается выражением:

$$C(t) = 1,21 \times I(t) - 98424.$$

На рис. 14 представлены фактические и модельные значения рассматриваемого показателя.



Рис. 14. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 4,5%, и коэффициент детерминации, равный 0,98.

Расходы на покупку товаров описываются следующим регрессионным уравнением:

$$C_{\text{пок. тов.}}(t) = 0,96 \times P(t) + 58644,4 .$$

На рис. 15 представлены фактические и модельные значения расходов на покупку товаров.



Рис. 15. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 0,94%, и коэффициент детерминации, равный 0,99.

Расходы на оплату услуг описываются следующим регрессионным уравнением:

$$C_{\text{опл.усл.}}(t) = 0,34 \times P(t) + 34422,46 .$$

На рис. 16 изображены фактические и модельные значения рассматриваемого показателя.



Рис. 16. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 3,5%, и коэффициент детерминации, равный 0,97.

Расходы на обязательные платежи и добровольные взносы описываются следующим образом:

$$C_{\text{об. пл.и вз.}}(t) = 0,31 \times P(t) - 22973,15.$$

На рис. 17 представлены фактические и модельные значения рассматриваемого показателя.



Рис. 17. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 4%, и коэффициент детерминации, равный 0,96.

Прочие расходы определяются из соотношения:

$$C_{\text{пр.}}(t) = C(t) - C_{\text{пок.тов.}}(t) - C_{\text{опл.усл.}}(t) - C_{\text{об.пл.и вз.}}(t).$$

3.1.5. Модуль «Потребительский рынок»

Объем розничного товарооборота описывается следующим выражением:

$$V_{\text{розн. тов.}}(t) = 0,95 \times C_{\text{пок. тов.}}(t) - 10823,44.$$

На рис. 18 представлены фактические и модельные значения рассматриваемого показателя.

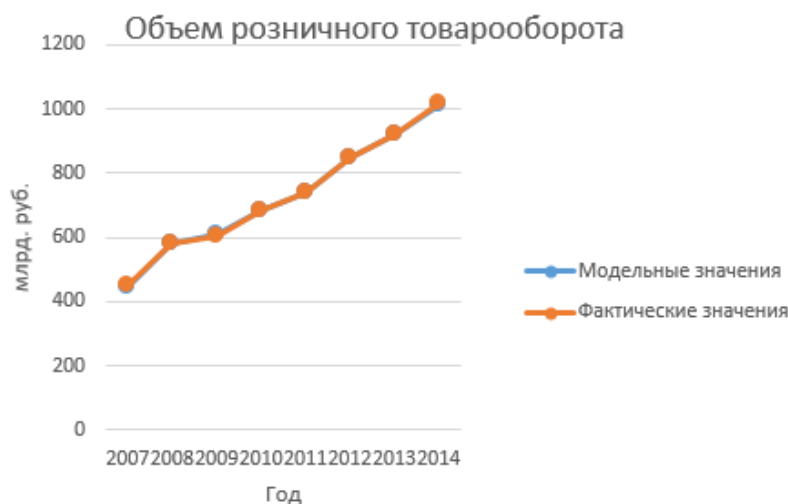


Рис. 18. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 0,36%, и коэффициент детерминации, равный 0,99.

Выражение для *объема розничного товарооборота в сопоставимых ценах*:

$$V_{\text{розн. тов. в сц}}(t) = \frac{V_{\text{розн. тов.}}(t)}{V_{\text{розн. тов.}}(t-1) \cdot CPI(t)} \times 10000.$$

Объем общественного питания описывается следующим нелинейным уравнением:

$$V_{\text{общ. пит.}}(t) = 69,89 \times \sqrt{C_{\text{пок. тов.}}(t)} - 14803,3.$$

На рис. 19 представлены фактические и модельные значения рассматриваемого показателя.

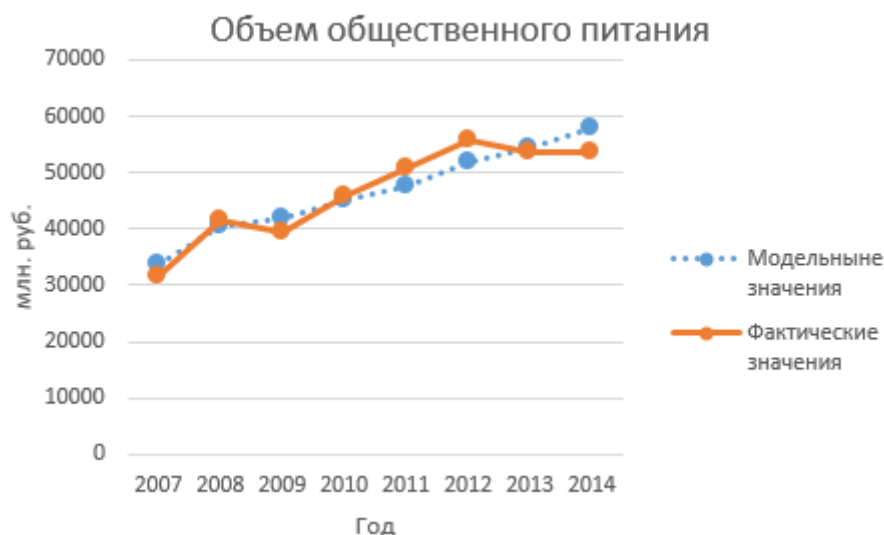


Рис. 19. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 5%, и коэффициент детерминации, равный 0,88.

Выражение для оборота общественного питания в сопоставимых ценах выглядит следующим образом:

$$V_{\text{общ.пит.в сц}}(t) = \frac{V_{\text{общ. пит.}}(t)}{CPI} \times 10000.$$

Объем платных услуг населению равен объему расходов населения на оплату услуг, то есть:

$$V_{\text{пл.усл.нас.}}(t) = C_{\text{опл.усл.}}(t).$$

Объем платных услуг населению в сопоставимых ценах представим в виде:

$$V_{\text{пл.усл.нас. в сц}}(t) = \frac{V_{\text{пл.усл.нас.}}(t)}{CPI} \times 10000.$$

3.1.6. Блок «Основные фонды»

Полная стоимость основных фондов определяется из соотношения:

$$F(t) = F_{\text{н}}(t) + E(t) - R(t),$$

где $E(t)$ вычисляется следующим образом:

$$E(t) = 0,32 \times GRP(t - 1) - 42888,76,$$

где $GRP(t - 1)$ – показатель ВРП за предыдущий год.

На рис. 20 представлены фактические и модельные значения рассматриваемого показателя.



Рис. 20. График фактических и модельных значений

Для оценки качества построенной зависимости рассчитаны средняя ошибка аппроксимации, значение которой составляет 9%, и коэффициент детерминации, равный 0,94.

3.2. Оценка качества математической модели

Для оценки точности модели вычислена средняя ошибка аппроксимации по всем выходным показателям, представленным в таблице 11.

Таблица 11. Качество моделей

Наименование показателя	Средняя ошибка аппроксимации
Блок «Расходы населения»	
Расходы на покупку товаров	0,9%
Расходы на оплату услуг	3,5%
Расходы на обязательные платежи и взносы	4%
Общий объем расходов	4,5%
Блок «Доходы населения»	
Оплата труда	3,5%
Доходы от предпринимательской деятельности	2,3%
Доходы от собственности	9%
Общий объем доходов	6%
Блок «Производственная функция»	
Валовой региональный продукт	4,4%
Блок «Основные фонды»	
Полная стоимость основных фондов	1%
Поступление основных фондов	9%
Модуль «Потребительский рынок»	
Объем розничного товарооборота	0,4%
Объем платных услуг населению	3,5%
Объем общественного питания	5%
Модуль «Рынок трудовых ресурсов»	
Численность трудоспособного населения в трудоспособном возрасте	0,7%
Численность занятых в экономике	0,6%
Численность трудоспособного населения	1,6%
Численность работающих пенсионеров	2%
Численность работающих подростков	8%
Численность иностранных трудовых мигрантов	2,6%

Средняя погрешность при расчете показателей потребительского рынка не превышает 3%. Средняя ошибка аппроксимации по блоку «Расходы населения» составляет 3,2%. Средняя погрешность по блоку «Доходы населения» равна 5,2%, а по модулю «Рынок трудовых ресурсов» – 3%. Для блоков «Производственная функция» и «Основные фонды» средние погрешности построенных моделей соответственно равны 4,4% и 5%.

Для математической модели в целом средняя ошибка аппроксимации составляет 4%. Максимальная погрешность по всем показателям не превышает 9%. Поскольку модель считается хорошей при средней

погрешности не более 10%, то можно утверждать, что разработанная модель достаточно точно описывает исследуемую экономическую систему.

Глава 4. Построение имитационной модели

Имитационная модель реализована в программном продукте VenSim. Данная модель относится к классу моделей системной динамики Форрестера, которая учитывает прямые и обратные связи и является пригодной для описания социально-экономических процессов. Описанные выше блоки и модули представлены по уровням. Таким образом, в модели имеется 6 уровней:

1. Уровень расчета производственной функции;
2. Уровень расчета трудовых ресурсов;
3. Уровень расчета стоимости основных фондов организаций;
4. Уровень расчета доходов населения;
5. Уровень расчета расходов населения;
6. Уровень расчета показателей потребительского рынка.

Прежде чем перейти к непосредственному описанию имитационной модели, необходимо ввести понятие «накопляемого потока», которое повсеместно используется в данном программном продукте. В VenSim накапливаемый поток – это изменение данных, которое описывается либо дифференциальными уравнениями в непрерывном случае, либо конечно-разностными уравнениями в дискретном случае, например, стоимость основных фондов является потоковой переменной.

Прогнозирование производится на период с 2015 по 2019 годы, при этом в качестве шага для модельного времени выбран 1 год. Расчеты на всех уровнях происходят в режиме реального времени. В качестве сценарных параметров в модель поступают показатели, указанные в главе 3. Имитационная модель реализована таким образом, что сценарные параметры задаются разные на весь период прогнозирования, т.е. изменяются с течением времени.

Перейдем к рассмотрению уровней.

На рис. 21 представлен уровень расчета трудовых ресурсов.

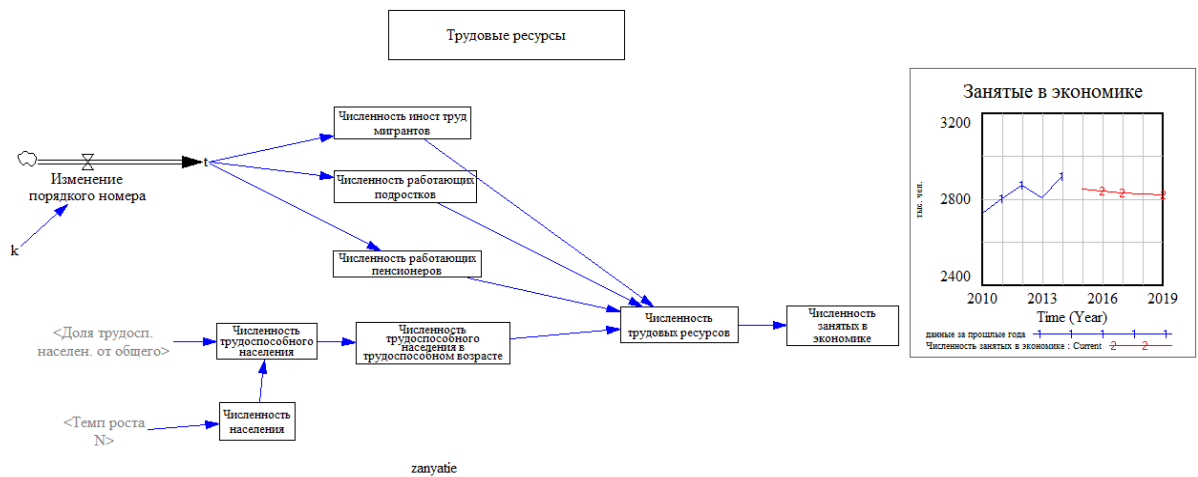


Рис. 21. Уровень расчета трудовых ресурсов

На данном уровне рассчитываются: численность иностранных трудовых мигрантов, численность работающих подростков, численность работающих пенсионеров, численность трудоспособного населения в трудоспособном возрасте, на основе которых рассчитывается численность трудовых ресурсов, необходимая для вычисления численности занятых в экономике, поступающей в производственную функцию, описанную на другом уровне. Стрелки на рис. 21, а также на последующих обозначают математические связи показателей, полученные и описанные в предыдущей главе. Наличие стрелки обозначает тот факт, что показатель, от которого она направлена, является причиной, а показатель, к которому она направлена, – следствием. Численность населения является потоковой величиной. Одновременно с описанными вычислениями происходят расчеты на уровне, представленном на рис. 22.

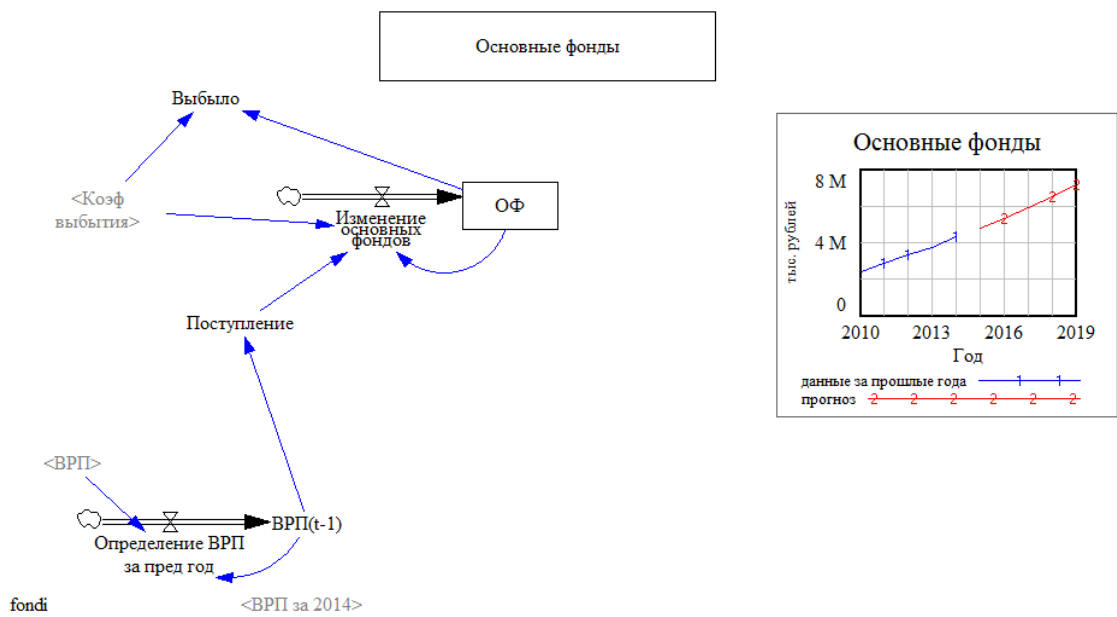


Рис. 22. Уровень расчета стоимости основных фондов

На этом уровне на основе ВРП за предыдущий год, а также коэффициента выбытия рассчитывается стоимость основных фондов организаций на текущий год. Показатели $ВРП(t - 1)$ и $ОФ$ являются накопительными потоками. Далее полученные данные поступают в уровень, представленный на рис. 23.

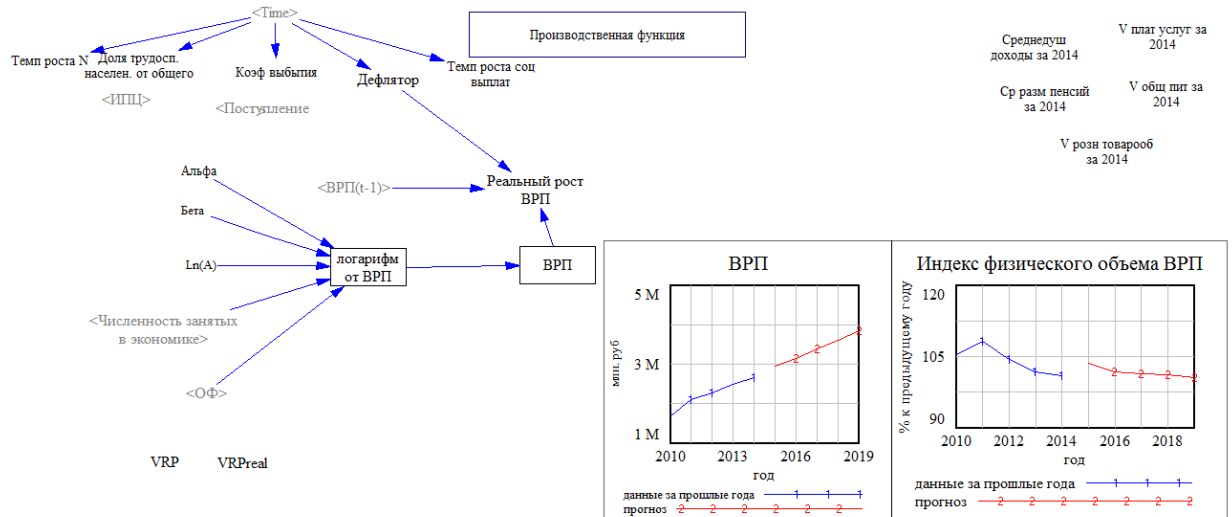


Рис. 23. Уровень расчета производственной функции

Здесь на основе рассчитанных показателей численности занятых в экономике и стоимости основных фондов рассчитывается ВРП и индекс физического объема ВРП, учитывающий инфляцию. Полученное значение

ВРП поступает в уровень расчета доходов населения, представленный на рис. 24.

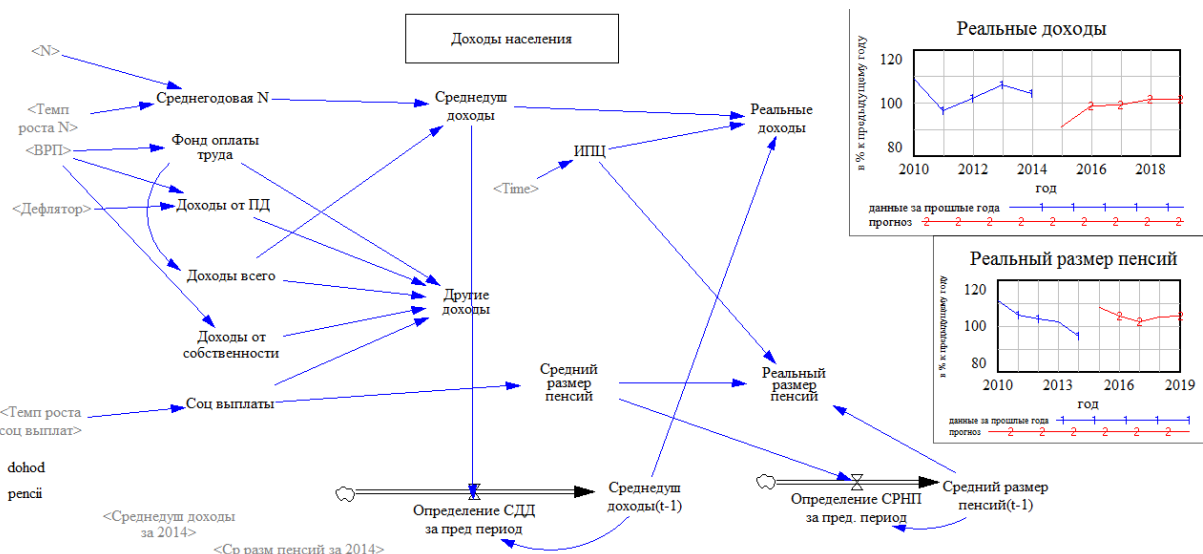


Рис. 24. Уровень расчета доходов населения

На данном уровне рассчитываются фонд оплаты труда, доходы от предпринимательской деятельности, доходы от собственности, доходы от социальных выплат, доходы всего, прочие доходы. При этом социальные выплаты, среднедушевые доходы и реальный размер пенсий представлены в виде потоков. Рассчитанные на этом уровне значения передаются на следующий уровень, изображенный на рис. 25.

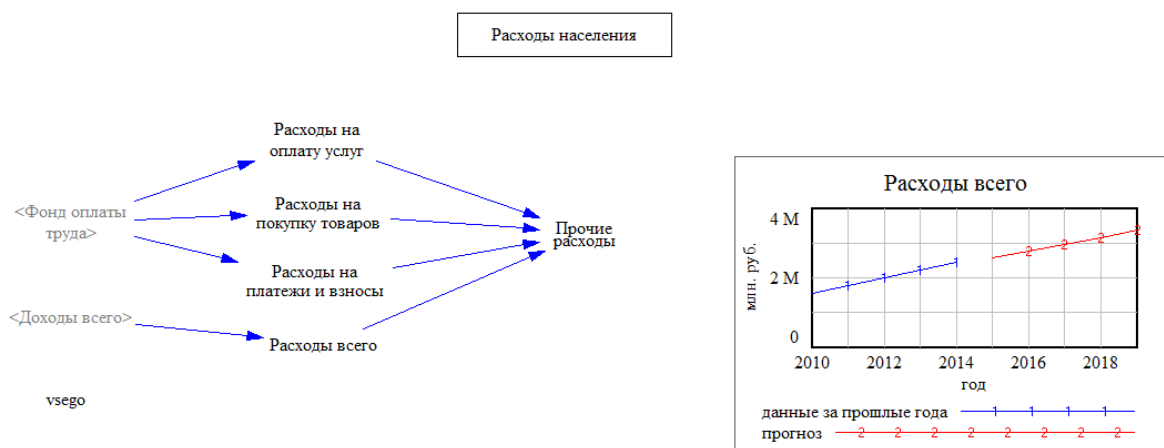


Рис. 25. Уровень расчета расходов населения

На данном уровне на основе показателей, рассчитанных на предыдущем уровне, определяются расходы населения на оплату услуг, на покупку товаров, на обязательные платежи и добровольные взносы,

суммарная величина расходов, а также прочие расходы. Далее полученные значения поступают на последний уровень, представленный на рис. 26.

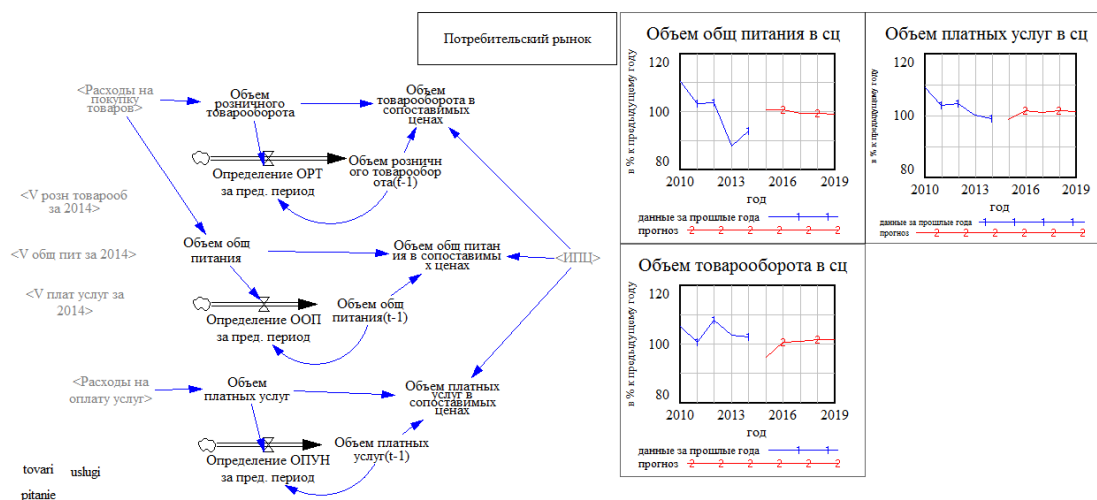


Рис. 26. Уровень расчета показателей потребительского рынка

На этом уровне на основе расходов населения на покупку товаров и на оплату услуг рассчитываются объемы товарооборота, общественного питания и платных услуг населению. Далее указанные показатели пересчитываются в сопоставимых ценах с учетом инфляции. Так же как и на других уровнях, на этом присутствует потоковое представление данных.

Стоит отметить, что практически на каждом уровне присутствуют обратные связи, используемые для подсчета показателей за предыдущие периоды.

Построенная имитационная модель полностью отражает описанную ранее математическую модель. При этом имитационная модель поддерживает возможность многократных прогонок с различными динамически изменяющимися сценарными показателями. Помимо этого, статистические данные на ретроспективные периоды визуализированы на графиках.

Глава 5. Проведение экспериментов

В данной главе описаны эксперименты, проведенные с использованием имитационной модели функционирования домашних хозяйств. На основе построенной имитационной модели строятся два независимых прогноза: оптимистичный и пессимистичный. Два варианта сценарных условий развития Санкт-Петербурга, используемых для прогнозирования, разработаны экспертами на основании ретроспективной динамики показателей и ожидаемой социально-экономической ситуации в городе и с учетом условий развития страны, разработанных Минэкономразвития РФ.

5.1. Пессимистичный прогноз

Пессимистичный вариант сценарных условий предполагает продолжение действия санкций со стороны США и ЕС на протяжении всего прогнозного периода. Это означает сохранение ограничений доступа к мировому рынку капитала для российских компаний и достаточно высокий уровень чистого оттока капитала из частного сектора, связанный с погашением внешнего долга. Значения сценарных показателей для пессимистичного варианта представлены в таблице 12.

Таблица 12. Сценарные показатели первого эксперимента

Наименование сценарного показателя	Год				
	2015	2016	2017	2018	2019
Доля населения трудоспособного возраста в общей численности населения на конец года	60	58,9	58	57,4	56,8
Коэффициент выбытия основных фондов	6,5	6,4	6,19	6,09	5,93
Индекс-дефлятор ВРП	107,1	106,3	105,9	105,8	106
Темп роста социальных пособий	110	107,5	105,5	109,6	109,6
Темп роста численности населения	100,63	100,07	100,01	99,96	99,7
Индекс потребительских цен (к декабрю предыдущего года)	112,2	106,4	106	105,1	105,1

В данном эксперименте получены следующие результаты прогнозирования показателей каждого блока, представленные на следующих рисунках.

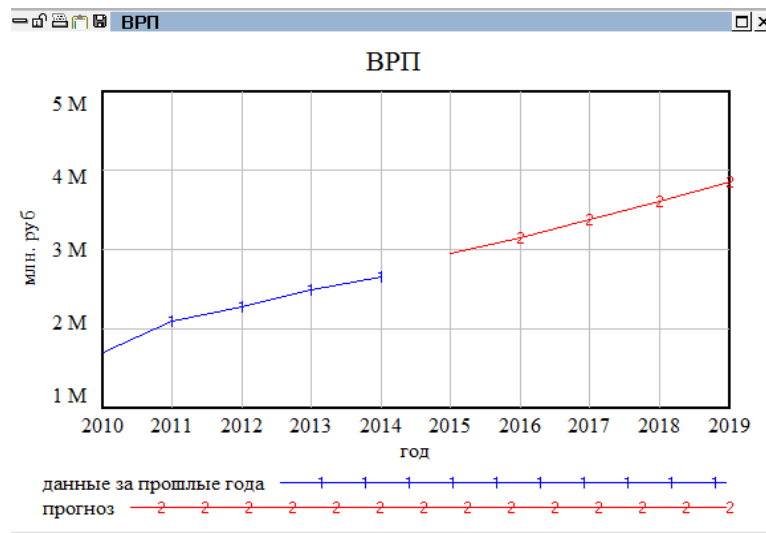


Рис. 27. Прогноз ВРП

Согласно результатам прогнозирования ожидается рост ВРП с 2,94 млрд. рублей в 2015 году до 3,86 млрд. рублей в 2019 году. Динамика индекса физического объема ВРП представлена на рис. 28.

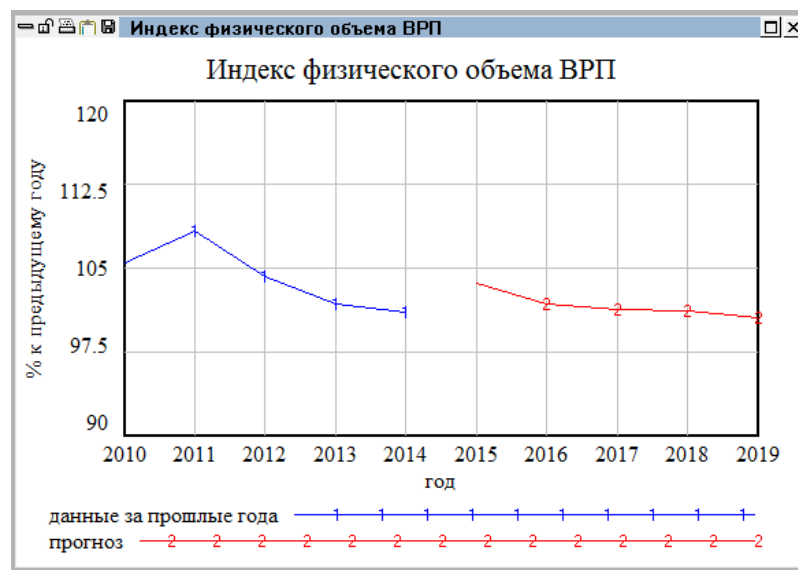


Рис. 28. Прогноз индексу физического объема ВРП

Прогнозируется изменение индекса физического объема ВРП с 103,63% к предыдущему периоду в 2015 году до 100,6% в 2019 году.

На рис. 29 представлены результаты прогнозирования численности занятых в экономике.

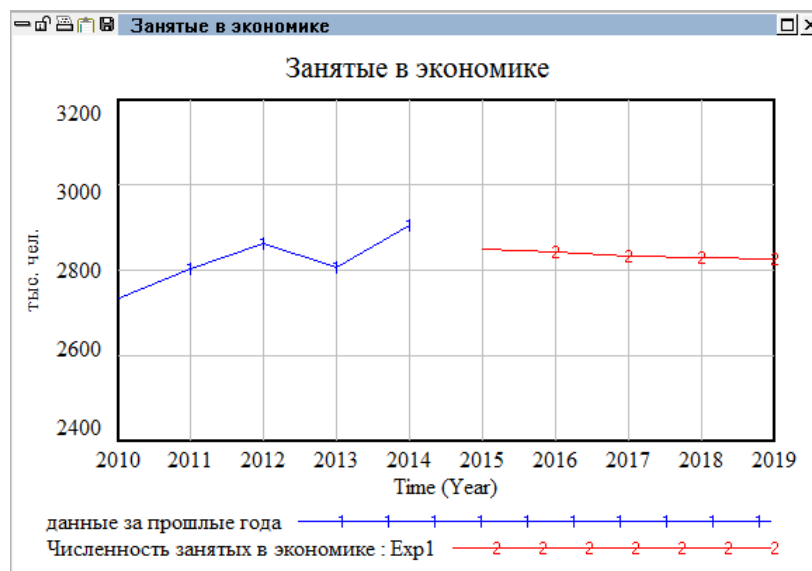


Рис. 29. Прогноз численности занятых в экономике

Согласно прогнозу, ожидается снижение данного показателя с 2848,9 тысяч человек в 2015 году до 2820 тысяч человек в 2019 году.

На рис. 30 представлен график изменения стоимости основных фондов.

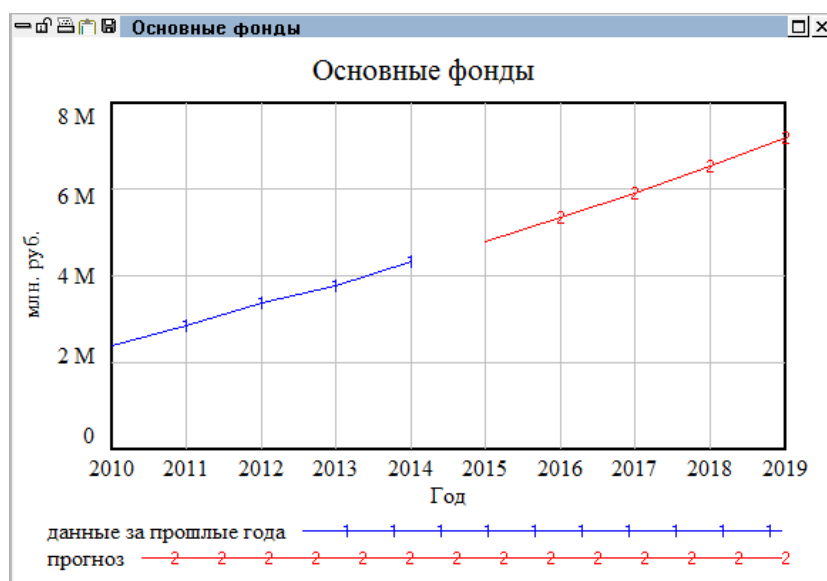


Рис. 30. Прогноз стоимости основных фондов

Прогнозируется рост стоимости основных фондов с 4,8 млрд. рублей в 2015 году до 7,26 млрд. рублей в 2019 году.

На рис. 31 показана динамика изменения реальных доходов домашних хозяйств на прогнозном периоде.

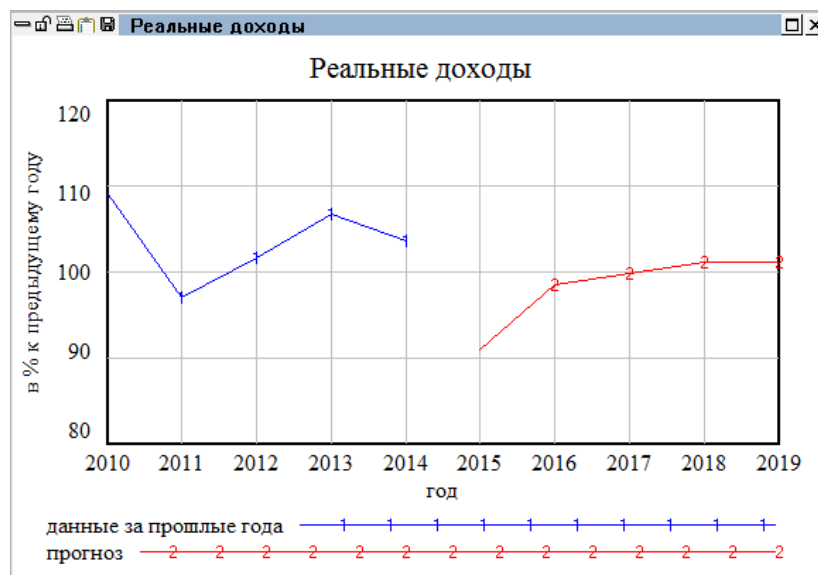


Рис. 31. Прогноз реальных доходов домашних хозяйств

Прогнозируется рост реальных доходов с 91,01% к предыдущему периоду в 2015 году до 101,2% в 2019 году.

Динамика изменения реального размера пенсий представлена на рис. 32.

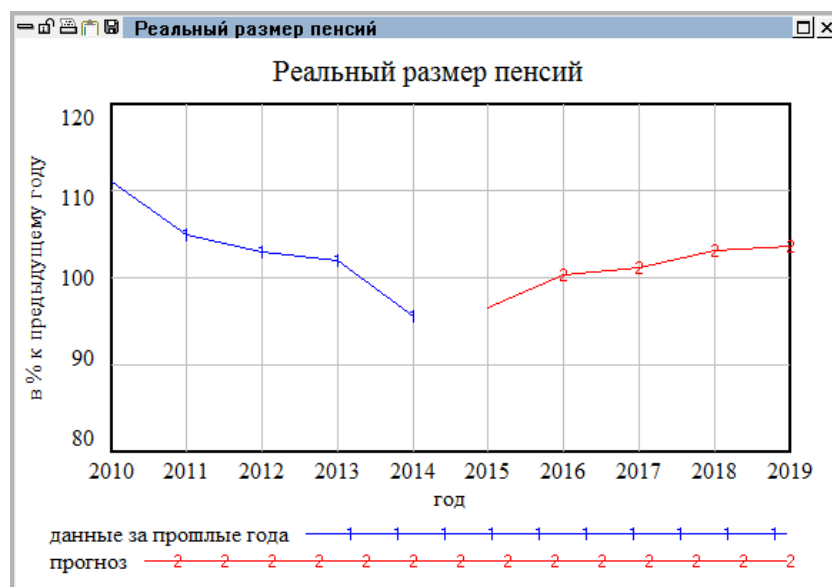


Рис. 32. Прогноз реального размера пенсий

Прогнозируется снижение реального размера пенсий с 96,58% по сравнению с предыдущим периодом в 2015 году до 103,58% в 2019 году.

На рис. 33 представлен прогноз общего объема расходов домашних хозяйств.



Рис. 33. Прогноз расходов домашних хозяйств

Прогнозируется рост данного показателя с 2,58 млрд. рублей в 2015 году до 3,37 млрд. рублей в 2019 году.

На рис. 34 представлена прогнозная динамика объема общественного питания в сопоставимых ценах.

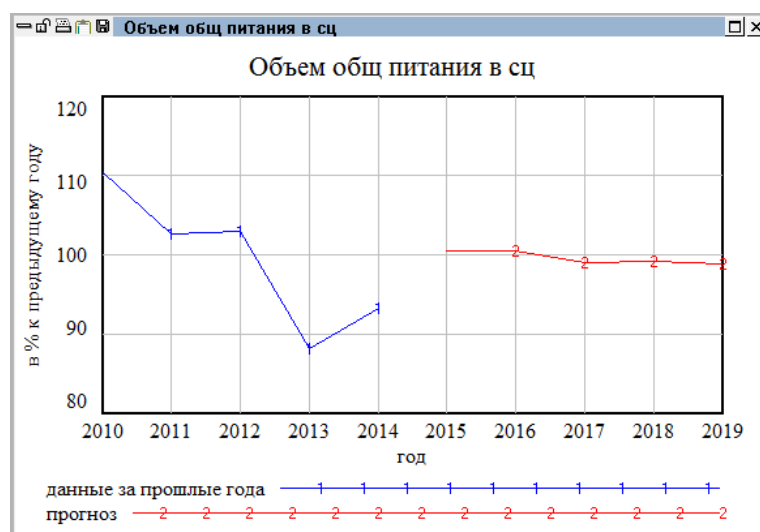


Рис. 34. Прогноз объема общественного питания в сопоставимых ценах

Прогнозируется изменение уровня данного показателя с 100,5% к предыдущему году в 2015-м до 98,87% в 2019 году.

На рис. 35 представлена прогнозная динамика объема розничного товарооборота в сопоставимых ценах.

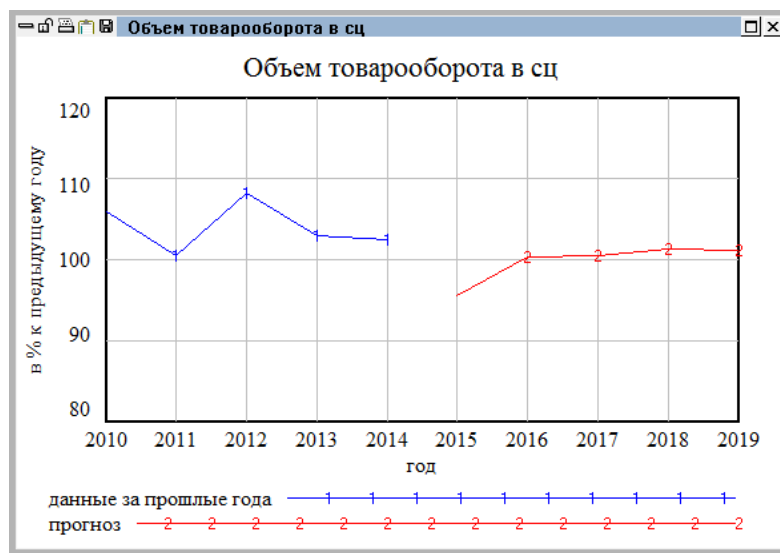


Рис. 35. Прогноз объема розничного товарооборота в сопоставимых ценах

Прогнозируется изменение уровня данного показателя с 95,50% к предыдущему году в 2015-м до 101,12% в 2019 году.

На рис. 36 представлена прогнозная динамика объема платных услуг населению в сопоставимых ценах.

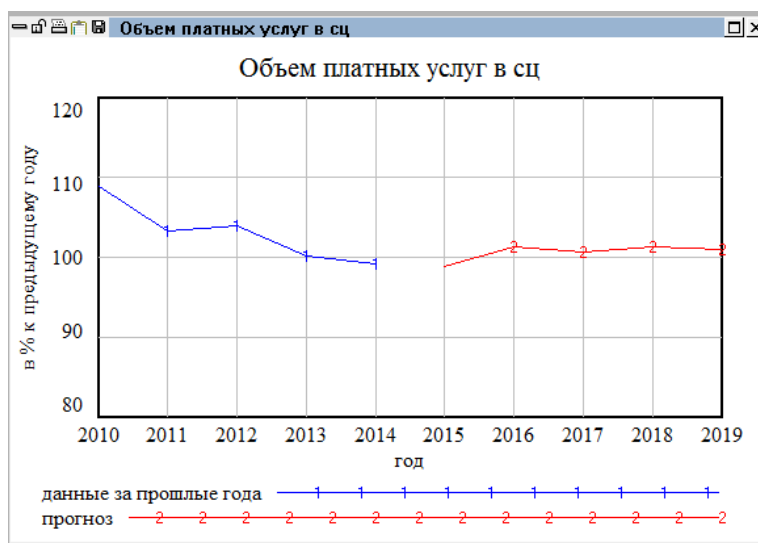


Рис. 36 Прогноз объема платных услуг в сопоставимых ценах

Прогнозируется изменение уровня данного показателя с 98,77% к предыдущему году в 2015-м до 100,97% в 2019 году.

5.2. Оптимистичный прогноз

Оптимистичный вариант сценарных условий базируется на предположении о более позитивной конъюнктуре рынка энергоносителей и

частичной отмене экономических санкций с 2016 года. Значения сценарных показателей для оптимистичного варианта представлены в таблице 13.

Таблица 13. Сценарные показатели второго эксперимента

Наименование сценарного показателя	Год				
	2015	2016	2017	2018	2019
Доля населения трудоспособного возраста в общей численности населения на конец года	60	59	58,1	57,5	57
Коэффициент выбытия основных фондов	6,5	6,5	6,36	6,4	6,33
Индекс-дефлятор ВВП	107,1	105,2	104,4	104,4	104
Темп роста социальных пособий	110	107,6	106,1	111	111
Темп роста численности населения	100,63	100,08	100,07	100,05	100,01
Индекс потребительских цен (к декабрю предыдущего года)	112,2	106,2	105,5	104,7	104,7

В этом эксперименте получены следующие результаты прогнозирования показателей каждого блока, представленные на последующих рисунках.

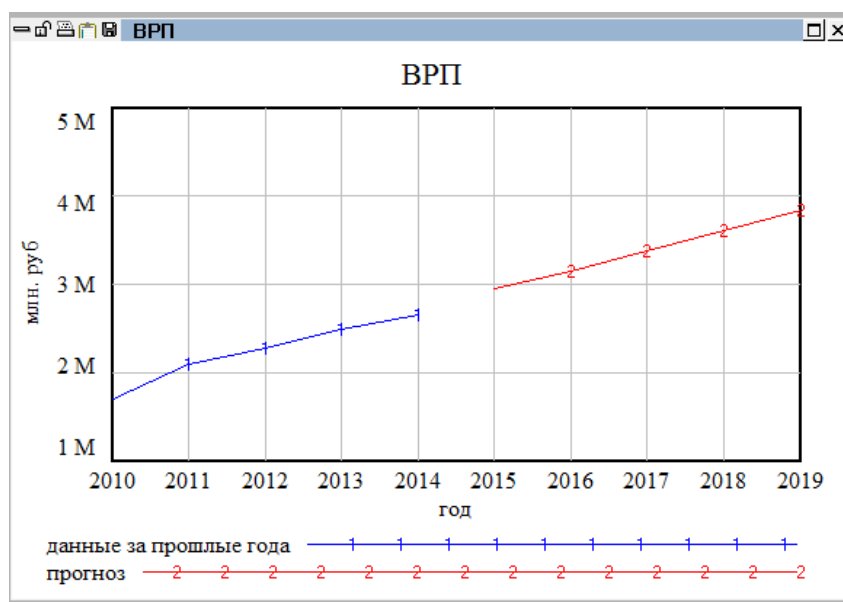


Рис. 37. Прогноз ВВП

Согласно результатам прогнозирования ожидается рост ВВП с 2.93 млрд. рублей в 2015 году до 3.84 млрд. рублей в 2019 году. Динамика индекса физического объема ВВП представлена на рис. 38.

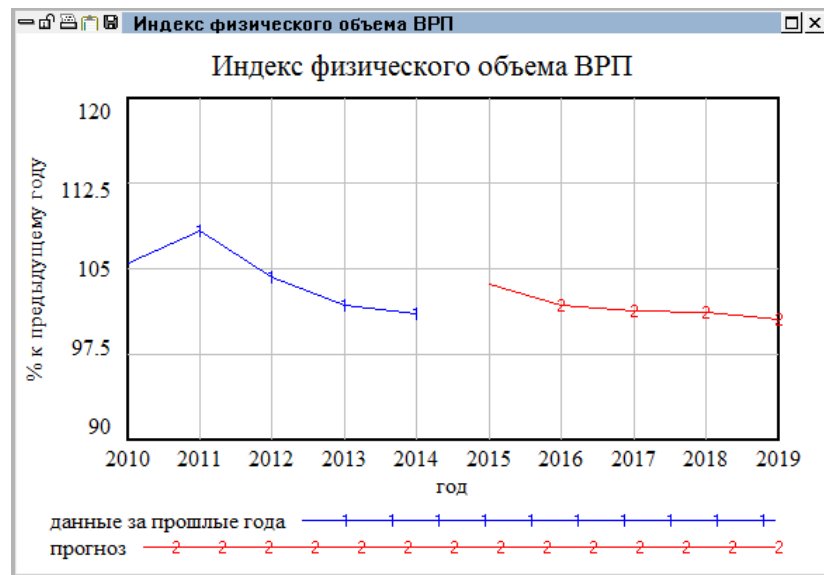


Рис. 38. Прогноз индекса физического объема ВВП

Прогнозируется изменение индекса физического объема ВВП с 103,64% к предыдущему периоду в 2015 году до 102,5% в 2019 году.

На рис. 39 представлены результаты прогнозирования численности занятых в экономике.

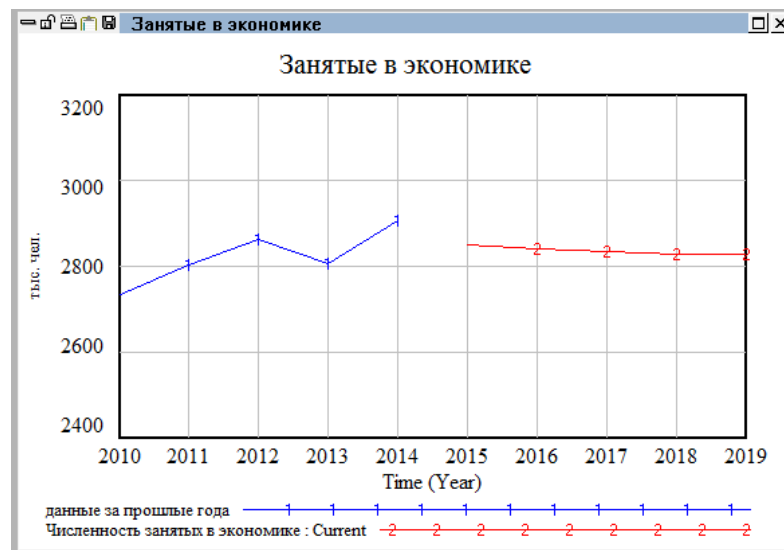


Рис. 39. Прогноз численности занятых в экономике

Согласно прогнозу, ожидается снижение данного показателя с 2848,9 тысяч человек в 2015 году до 2827 тысяч человек в 2019 году.

На рис. 40 представлен график изменения стоимости основных фондов.

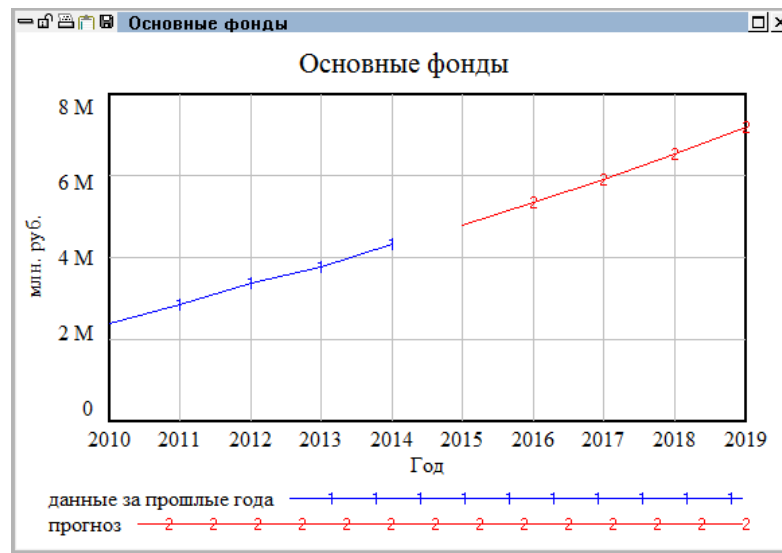


Рис. 40. Прогноз стоимости основных фондов

Прогнозируется рост стоимости основных фондов с 4,8 млрд. рублей в 2015 году до 7,19 млрд. рублей в 2019 году.

На рис. 41 показана динамика изменения реальных доходов домашних хозяйств на прогнозном периоде.

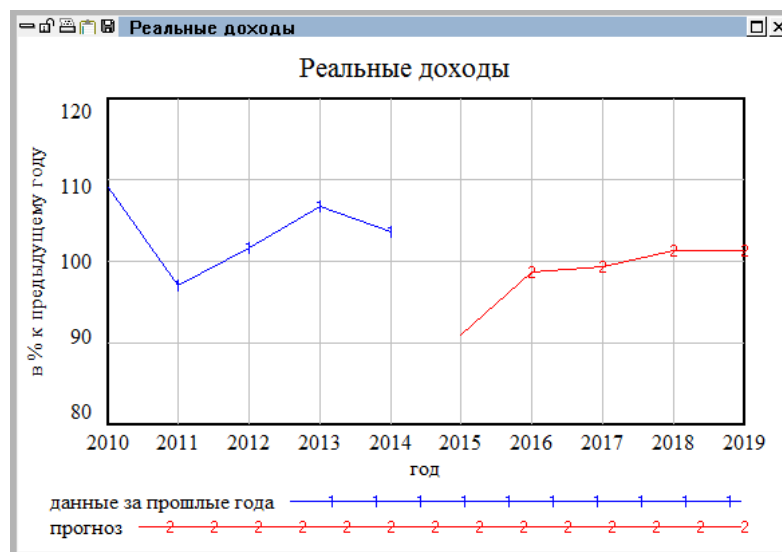


Рис. 41. Прогноз реальных доходов домашних хозяйств

Прогнозируется рост реальных доходов с 91,01% к предыдущему периоду в 2015 году до 101,33% в 2019 году.

Динамика изменения реального размера пенсий представлена на рис. 42.



Рис. 42. Прогноз реального размера пенсий

Прогнозируется снижение реального размера пенсий с 96,58% по сравнению с предыдущим периодом в 2015 году до 105,2% в 2019 году.

На рис. 43 представлен прогноз общего объема расходов домашних хозяйств.



Рис. 43. Прогноз расходов домашних хозяйств

Прогнозируется рост данного показателя с 2,59 млрд. рублей в 2015 году до 3,36 млрд. рублей в 2019 году.

На рис. 44 представлена прогнозная динамика объема общественного питания в сопоставимых ценах.

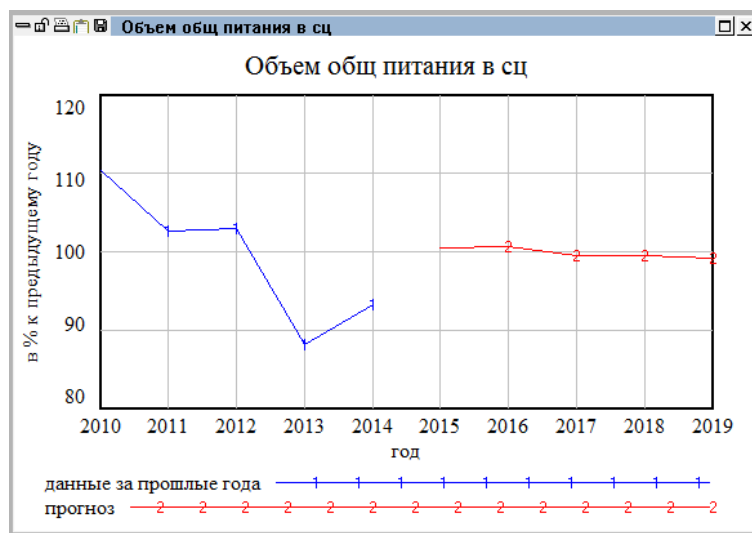


Рис. 44. Прогноз объема общественного питания в сопоставимых ценах

Прогнозируется изменение данного показателя с 100,53% к предыдущему году в 2015-м до 99,22% в 2019 году.

На рис. 45 представлена прогнозная динамика объема розничного товарооборота в сопоставимых ценах.

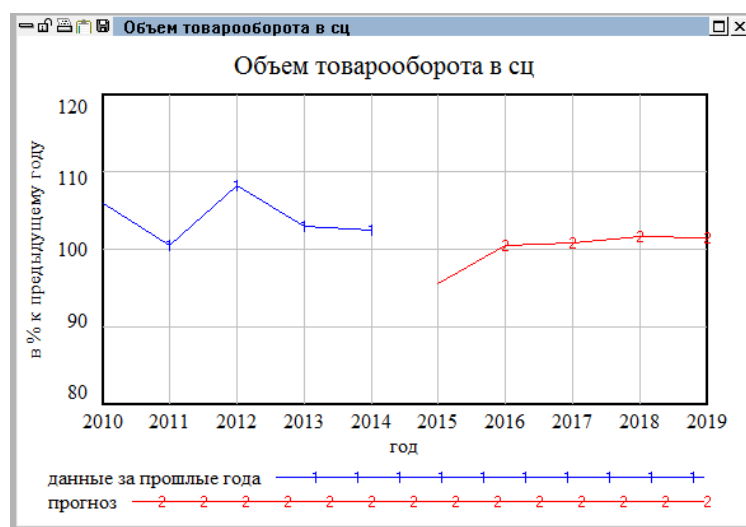


Рис. 45. Прогноз объема розничного товарооборота в сопоставимых ценах

Прогнозируется изменение данного показателя с 95,5% к предыдущему году в 2015-м до 101,46% в 2019 году.

На рис. 46 представлена прогнозная динамика объема платных услуг населению в сопоставимых ценах.

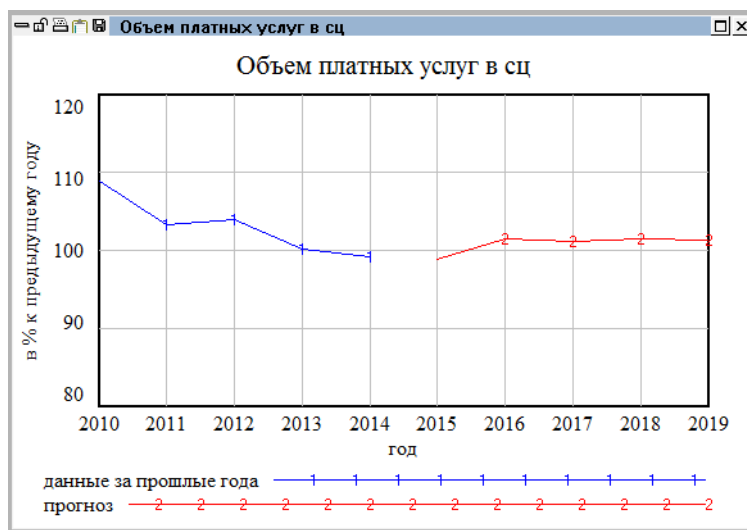


Рис. 46. Прогноз объема платных услуг в сопоставимых ценах

Прогнозируется изменение данного показателя с 98,77% к предыдущему году в 2015-м до 101,31% в 2019 году.

Выводы

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке и реализации прогнозно-аналитической имитационной модели функционирования домашних хозяйств в субъектах Российской Федерации. Задача исследования заключалась в разработке экономико-математической модели домашних хозяйств, реализации на ее основе имитационной модели, позволяющей в автоматизированном режиме осуществлять прогнозирование на среднесрочную перспективу динамики показателей, характеризующих деятельность домашних хозяйств, в зависимости от различных условий, а также в проведении экспериментов с использованием построенной имитационной модели и получении с ее помощью прогноза по реальным данным.

Методологической базой проведенного исследования являлась теория моделирования, согласно которой проводились проектирование, разработка, реализация и оценка модели исследуемого объекта – домашних хозяйств. В качестве субъекта использовался Санкт-Петербургский регион, на статистических данных которого и проводились исследования.

В основу построения математической модели заложены методы корреляционно-регрессионного анализа. Построена система причинно-следственных связей между различными сферами жизнедеятельности региона, выбраны экзогенные и эндогенные параметры и реализована экономико-математическая модель функционирования домашних хозяйств. Адекватность построенной модели подтверждается величиной средней ошибки аппроксимации, которая равна 4%, что является очень хорошим результатом при допустимом уровне 10%.

На основе представленной математической модели разработана имитационная модель, разработке которой предшествовало изучение программных возможностей для решения поставленной задачи.

Имитационная модель реализована в программном продукте VenSim, в котором решение представлено в виде уровней, соответствующих представленным в концептуальной модели модулям и блокам. Всего разработано 6 уровней, соответствующих концептуальной модели. Построенная модель относится к классу моделей системной динамики Форрестера. Она учитывает прямые и обратные связи и подходит для описания социально-экономических процессов.

С использованием разработанной имитационной модели проведены два эксперимента, отличающиеся сценарными условиями, заданными экспертным путем, и построены оптимистичный и пессимистичный прогнозы социально-экономических процессов, связанных с деятельностью домашних хозяйств. Эксперименты показали, что модель является чувствительной даже для небольших изменений сценарных показателей, что говорит о ее высоком качестве и широких возможностях ее применения.

Заключение

Имитационное моделирование на сегодняшний день является востребованным и актуальным направлением в решении задач регионального управления. С его помощью осуществляются различные исследования, направленные на изучение влияния тех или иных управленческих решений, а также на построение плана мероприятий, направленных на достижения требуемых результатов. Построенная имитационная модель является лишь частью общей модели регионального экономического развития, разработка которой является чрезвычайно сложной задачей.

В дальнейшем планируется расширение построенной математической и соответственно имитационной модели и усовершенствование разработанных связей.

Список литературы

1. Калиниченко А.Ю., Тарашнина С.И. Информационные технологии в целях обеспечения социально-экономического прогнозирования развития региона. // Технологии информационного общества в науке, образовании и культуре: сборник научных статей. Труды XVII Всероссийской объединенной конференции «Интернет и современное общество». 2014. С. 229 – 234.
2. Турунцева М., Киблицкая Т. Качественные свойства различных подходов к прогнозированию социально-экономических показателей РФ. М.: ИЭПП, 2010. 148 с.
3. Solow R.M. Growth Theory. An Exposition, Oxford: Oxford University Press, 1988. 109 p.
4. Хасаев Г.Р., Цыбатов В.А. Технология прогнозирования регионального развития: опыт разработки и использования // Проблемы прогнозирования. 2002. № 3. С. 64 – 82.
5. Цыбатов В.А. Моделирование экономического роста. Сам.: Изд. Сам. ун-та, 2006. 360 с.
6. Тарашнина С.И., Асфар С.В. Решение прогнозно-аналитических задач в целях поддержки принятия управленческих решений. // Региональная информатика «РИ 2014»: материалы XIV Санкт-Петербургской международной конференции. 2014. С. 186 – 188.
7. К. К. Васильев, М. Н. Служивый Математическое моделирование систем связи : учебное пособие. Ульяновск: Изд. УлГТУ, 2008. 170 с.
8. Закономерности и проблемы функционирования и развития экономики региона: теоретический и прикладной аспекты исследования / Под науч. ред. проф. С.Ю. Авакова. Таганрог: Изд. ТИУиЭ, 2004. 292 с.