

Вестник Самарского государственного экономического университета. 2023. № 6 (224). С. 69–83.
Vestnik of Samara State University of Economics. 2023. No. 6 (224). Pp. 69–83.

Научная статья
УДК 332.145:004.9
doi:10.46554/1993-0453-2023-6-224-69-83

Цифровые технологии прогнозирования и стратегического планирования регионального развития: теория и практика

Владимир Андреевич Цыбатов

Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия, tva82@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается подход к цифровизации процессов прогнозирования и стратегического планирования регионального развития на основе создания цифрового инструментария, позволяющего региональным аналитикам эффективно решать практические задачи прогнозирования и стратегического планирования. Основными компонентами этого инструментария являются цифровая модель региона (субъекта Российской Федерации), описывающая социально-экономическую деятельность региона с необходимой подробностью, и универсальный решатель, позволяющий за приемлемое время решать на модели региона прямые и обратные задачи большой размерности. Обсуждается опыт использования в региональной практике методов и цифровых инструментов прогнозирования и стратегического планирования, разработанных в Самарском государственном экономическом университете.

Ключевые слова: прогнозирование, стратегическое планирование, цифровые макроэкономические модели, решатель обратных задач

Основные положения:

- ◆ проведен анализ зарубежного и отечественного опыта разработки цифровых макроэкономических моделей, используемых в задачах прогнозирования и стратегического планирования;
- ◆ рассмотрена цифровая модель региона в виде системы цифровых экономико-математических моделей, воспроизводящих социально-экономическую деятельность субъекта РФ с необходимой подробностью;
- ◆ показано, что ключевым элементом инструментария прогнозирования и стратегического планирования является решатель обратных задач большой размерности.

Для цитирования: Цыбатов В.А. Цифровые технологии прогнозирования и стратегического планирования регионального развития: теория и практика // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2023. № 6 (224). С. 69–83. doi:10.46554/1993-0453-2023-6-224-69-83.

Original article

Digital technologies of forecasting and strategic planning of regional development: theory and practice

Vladimir A. Tsybatov

Samara State University of Economics, Samara, Russia, tva82@yandex.ru

Abstract. The article considers an approach to digitalization of forecasting processes and strategic planning of regional development based on the creation of digital tools that allow regional analysts to effectively

© Цыбатов В.А., 2023

solve practical problems of forecasting and strategizing. The main components of this toolkit are: a digital model of a region (a subject of the Russian Federation) describing the socio-economic activity of the region with necessary details, and a universal solver that allows solving direct and inverse problems of large dimension on the model of the region in an acceptable time. The experience of using methods and digital tools of forecasting and strategic planning developed at the Samara State University of Economics in the regional practice is discussed.

Keywords: forecasting and strategic planning, digital macroeconomic models, inverse problem solver

Highlights:

- ◆ the analysis of foreign and domestic experience in the development of digital macroeconomic models used in forecasting and strategic planning tasks is carried out;
- ◆ the digital model of the region is considered in the form of a system of digital economic and mathematical models reproducing the socio-economic activity of the subject of the Russian Federation with necessary details;
- ◆ it is shown that the key element of forecasting and strategic planning tools is a solver of inverse problems of large dimension.

For citation: Tsybatov V.A. Digital technologies of forecasting and strategic planning of regional development: Theory and practice // Vestnik of Samara State University of Economics. 2023. No. 6 (224). Pp. 69–83. (In Russ.). doi:10.46554/1993-0453-2023-6-224-69-83.

Введение

Статья посвящена актуальной проблеме цифровизации процессов прогнозирования и стратегического планирования. Минэкономразвития РФ, понимая важность этой проблемы, занимается цифровизацией стратегирования уже более 10 лет. Правда, изучение материалов, разрабатываемых Минэкономразвития, показывает, что в ближайшее время цифровизация коснется только организационных процессов и оборота документов по стратегическому планированию [1]. Однако аналитиков и разработчиков региональных стратегий в первую очередь интересует содержательная цифровизация всех этапов стратегического планирования, предусмотренных Федеральным законом № 172, в особенности этапов стратегического целеполагания и прогнозирования.

В Самарском государственном экономическом университете (СГЭУ) разработан целый ряд программных продуктов, которые в некотором смысле восполняют пробел, существующий на рынке цифровых технологий прогнозирования и стратегического планирования. Это в первую очередь автоматизированная система АИС «План-Прогноз», предназначенная для анализа, прогнозирования и стратегического планирования развития субъекта РФ [2].

Система выполняет все виды прогнозно-аналитических работ и обеспечивает поддержку решения задач стратегического целеполагания в рамках Федерального закона РФ от 28.06.2014 № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации». Другой важной разработкой является автоматизированная система АИС «Энергетика» [3]. Она предназначена для анализа, ситуационного прогнозирования и стратегического планирования развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) субъекта РФ на основе формирования регионального топливно-энергетического баланса. Прогнозирование и планирование проводятся на единой цифровой модели ТЭК региона. Последней нашей разработкой является система АИС «Регион-Прогноз», предназначенная для анализа, прогнозирования и стратегического планирования развития федеральных округов и агломераций [4]. Система является многомодельной – она обеспечивает работу с цифровыми моделями субъектов, входящих в состав моделируемых округов и агломераций.

В рамках настоящей статьи представлен опыт разработки и практического использования подобных систем, реализующих цифровые технологии прогнозирования и стратегического планирования регионального развития.

Методы

Для создания полноценной автоматизированной информационной системы прогнозирования и стратегического планирования (АИС ПСП) необходимы следующие компоненты:

1) цифровая модель региона в виде системы цифровых экономико-математических моделей большой размерности, воспроизводящих социально-экономическую деятельность субъекта РФ с необходимой подробностью;

2) инструментарий прогнозирования и стратегического планирования, позволяющий за приемлемое время решать на модели региона прямые и обратные задачи для десятков целей, сотен управляющих переменных и глубоких горизонтов прогнозирования;

3) инструментарий настройки модели региона на доступную региональную статистику и калибровки коэффициентов модели.

При разработке цифровой модели региона были проведены поиск и анализ аналогов. Анализ зарубежного опыта разработки цифровых макроэкономических моделей показал, что наиболее используемыми являются следующие технологии макроэкономического моделирования.

Моделирование в классе вычислимых моделей общего равновесия (CGE). CGE-модель представляет собой систему уравнений поведения экономических агентов, решением которой является общее экономическое равновесие, как правило, сводящееся к уравновешиванию спроса и предложения на рынках товаров и услуг, рассматриваемых в модели. Количество экономических агентов в таких моделях может достигать нескольких сотен. Равновесие достигается в результате итеративного пересчета численными методами [5]. Эти модели широко используются для анализа последствий принимаемых управленческих решений из-за своей способности адекватно моделировать ответную реакцию системы на внешние воздействия [6]. Моделирование на CGE-моделях проводится с помощью специальных пакетов моделирования, таких как GEMPACK [7] или GAMS [8], которые позволяют решать на разработанных моделях за-

дачи прогнозирования и стратегического планирования.

Моделирование в классе динамических стохастических моделей общего равновесия (DSGE-моделирование). DSGE-модели широко используются в качестве инструмента изучения экономических систем и разработки экономической политики центральными банками [9].

На сегодняшний день DSGE-модели считаются стандартом для макроэкономического финансового моделирования [10]. Данный класс моделей часто используется в качестве «лаборатории» для сценарного анализа и определения оптимальных правил денежно-кредитной политики. В этом качестве DSGE-модели представляют значительный практический интерес для Банка России [11]. DSGE-модели обычно содержат небольшое количество экономических агентов (домохозяйства, фирмы, банки, бюджетные органы, внешнее окружение).

Агент-ориентированное моделирование (Agent-based modeling, или Agent-based Computation Economics (ACE) modeling). Это имитационное моделирование, основанное на индивидуальном поведении агентов [12]. В отличие от моделей системной динамики аналитик определяет поведение агентов на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат интерференции деятельности множества агентов. Агент-ориентированное моделирование особенно подходит для создания территориально-распределенных моделей экономических и социальных систем. Эти модели особенно активно используются для облегчения процессов принятия стратегических решений в управлении здравоохранением [13], медицинской диагностике [14], информационных технологиях [15] и многих других сферах. Количество агентов в модели может достигать сотен тысяч и даже десятков миллионов [16]. Одним из наиболее популярных и удобных программных сред для агент-ориентированного моделирования является пакет AnyLogic, который работает как с дискретно-событийным моделированием, системной динамикой, так и с агентным моделированием [17].

Наиболее цитируемые российские макроэкономические модели

Модели	Используемые технологии моделирования	Разработчики
Модель экономики России	Комплекс моделей, включающий: динамические стохастические модели общего равновесия (DSGE-модели); эконометрические модели	Центральный банк Российской Федерации, Набиуллина Э.С.
Модель экономики России RUSEC	Модель принадлежит к классу прикладных (вычислимых) CGE-моделей общего равновесия вальрасовского типа	ЦЭМИ РАН, акад. В.Л. Макаров
Модель «Россия: Центр – Федеральные округа»	Модель принадлежит к классу прикладных (вычислимых) CGE-моделей общего равновесия вальрасовского типа. Используется для количественной оценки различных мер региональной экономической политики	ЦЭМИ РАН, акад. В.Л. Макаров, чл.-корр. А.Р. Бахтизин
Региональные модели	Агент-ориентированные модели демографии региона	ЦЭМИ РАН, чл.-корр. А.Р. Бахтизин
Модель экономики России	Балансово-эконометрическая макроструктурная модель. Эконометрический прогноз итеративно балансируется по спросу и предложению	ИНП РАН, Центр макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования (ЦМАКП), А.Р. Белоусов
Модель экономики России RIM	RIM (Russian Interindustry Model) – макроэкономическая межотраслевая модель рыночного равновесия российской экономики, соединяющая в себе межотраслевой подход и эконометрическое описание поведения основных субъектов рынка	ИНП РАН, проф. М.Н. Узяков
Модель экономики России	В основу модели положена методология долгосрочного прогнозирования, основанная на теории больших кондратьевских циклов	МГУ им. М.В. Ломоносова, проф. А.А. Акаев, акад. В.А. Садовничий
Модель экономики России	Модель межвременного равновесия. Развитие экономики описывается как результат деятельности экономических агентов. В процессе взаимодействия агенты согласовывают свои планы для выполнения балансов спроса и предложения на всех рынках	ВЦ РАН им. А.А. Дородницына, акад. РАН А.А. Петров, чл.-корр. РАН И.Г. Поспелов

Наибольший практический интерес для нас представляли российские исследования в сфере моделирования и прогнозирования, поскольку в них в большей степени учитываются особенности национальных институтов управления и статистического описания объектов моделирования. Наиболее цитируемые российские макроэкономические модели представлены в таблице. Как видно, технологии моделирования, используемые в наиболее значимых российских моделях, примерно те же. Среди разработчиков лидирует ЦЭМИ РАН.

Анализ литературных источников показывает, что российских макроэкономических моделей, эффективно работающих на региональном уровне, в настоящий момент нет, что подчеркивает актуальность наших разработок.

Результаты

При моделировании региона (субъекта РФ) нами была принята следующая концептуальная модель деятельности региона (рис. 1). Регион представлен как административно-территориальное образование в границах субъекта федерации, имеющее государственную власть. Эта власть в лице регионального руководства оказывает управляющие воздействия на социально-экономическую деятельность территории.

Помимо регионального руководства действующими субъектами на территории региона являются:

- ♦ органы государственной власти федерального уровня (ОФВ), проводящие государственную политику в регионе;

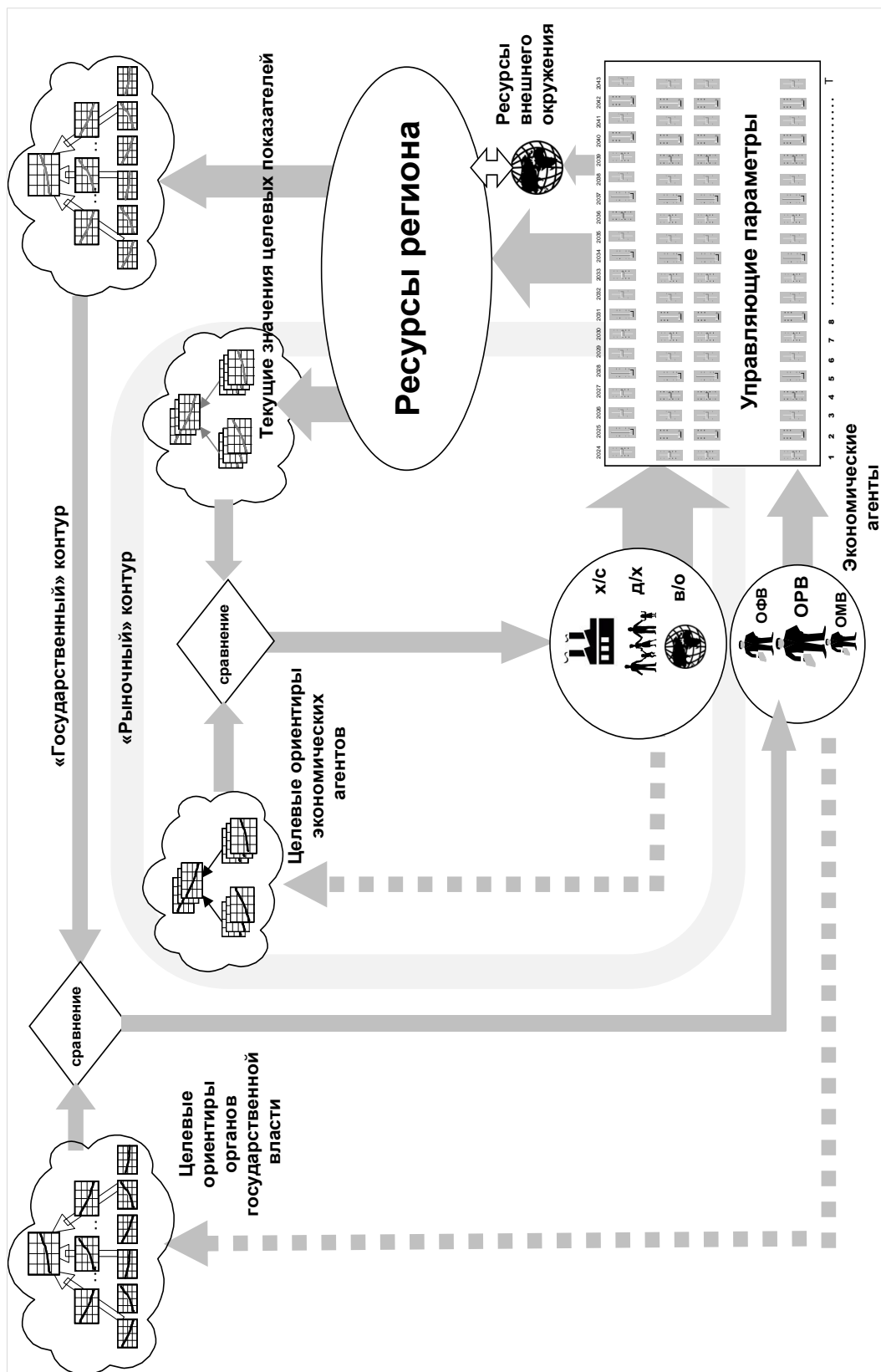


Рис. 1. Концептуальная модель деятельности региона

- ◆ органы власти муниципальных образований (МО);
- ◆ хозяйствующие субъекты отраслей региональной экономики;
- ◆ домашние хозяйства;
- ◆ субъекты внешнего окружения в лице соседних регионов и зарубежных стран, имеющих интересы в регионе.

Перечисленные субъекты (экономические агенты) имеют собственные цели и ресурсы и воздействуют на общие ресурсы региона через собственные инструменты управления. Основой поведения экономических агентов являются целевые установки (в общем случае целевые траектории), которые ориентируют их действия в направлении, обеспечивающем достижение соответствующих целевых ориентиров.

В концептуальной модели можно выделить два контура:

1) «рыночный» контур, в который вовлечены внутренние и внешние хозяйствующие субъекты, а также домашние хозяйства, управляющие своими ресурсами посредством доступных им механизмов управления;

2) «государственный» контур, посредством которого органы государственной власти всех уровней влияют на рыночную экономику. Сила этого влияния определяется той долей рычагов управления, которые находятся в руках государства.

Экономические агенты, входящие в «рыночный» контур, в своей деятельности стремятся к достижению собственных целей. Хозяйствующие субъекты (х/с) управляют объемами и ценами выпускаемой продукции, а также распределением текущего дохода между обслуживанием текущих расходов и накоплением для увеличения или сохранения целевой нормы прибыли или для достижения других целей, декларированных в инвестиционных проектах. Домашние хозяйства (д/х), руководствуясь целями локализации, деторождения, повышения квалификации и максимизации дохода, управляют миграцией, деторождением, обучением, занятостью и потребительским поведением. Субъекты внешнего окружения (субъекты соседних регионов и зарубежья) управляют потоками товаров и услуг, а также инвестициями в основной капитал для получения

целевого коммерческого и инвестиционного дохода.

Органы федеральной власти стремятся к достижению целевых значений показателей безопасности и благосостояния федерального уровня путем проведения соответствующей налоговой, социальной и бюджетной политики. Механизмами управления являются федеральные законы, ставки федеральных налогов, нормативы распределения налогов между бюджетами всех уровней, пропорции распределения федерального бюджета, бюджетные трансферты, ставки пенсий и бюджетных зарплат. Органы региональной власти (ОРВ) контролируют достижение целевых значений для показателей благосостояния регионального уровня, используя механизмы проведения региональной налоговой, социальной и бюджетной политики (ставки региональных налогов, социальные трансферты, пропорции распределения регионального бюджета). Соответственно, органы муниципальной власти отвечают за достижение целевых значений показателей благосостояния муниципального уровня. В их распоряжении остается небольшой арсенал доступных механизмов налоговой, социальной и бюджетной политики.

Целевые показатели субъектов региона отражаются в соответствующих стратегиях развития – федеральных, региональных, муниципальных, которые должны рассматриваться в едином комплексе.

Данная концептуальная модель хорошо ложится на технологию моделирования в классе вычислимых моделей общего равновесия (CGE). В рамках этой технологии моделирования экономика региона была представлена как совокупность отраслей экономики (экономических агентов), соответствующих разделам и классам ОКВЭД 2 с добавлением агента «органы государственной власти», агента «домашние хозяйства», агента «внешнее окружение» и агента «невидимая рука рынка», отвечающего за равновесие спроса и предложения на рынках товаров и факторов производства (рис. 2, позиция 1).

Стандартная модель экономического агента содержит модель поведения, производственную функцию и модель ресурсов. Экономические агенты производят один или не-

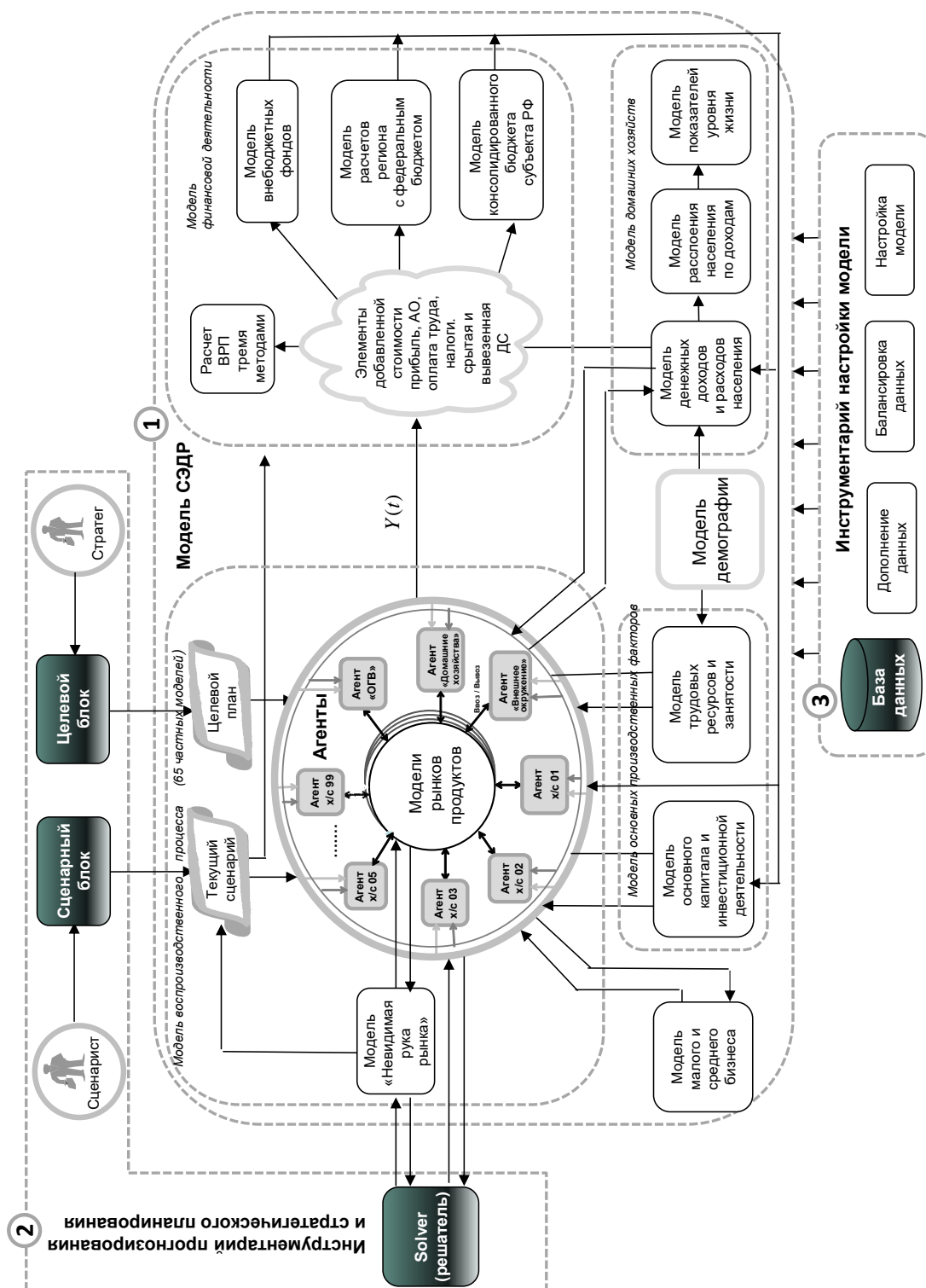


Рис. 2. Система прогнозирования и стратегического планирования

сколько условных продуктов (товаров и услуг) из базового набора, которые продаются внутри региона или вывозятся. Для производства этих товаров и услуг агентами на соответствующих рынках приобретаются необходимые промежуточные товары и услуги, основной капитал и трудовые ресурсы. Агент имеет как экзогенное, так и эндогенное управление. Выпуск агента j в натуральном выражении моделируется следующей производственной функцией:

$$s_j(t) = \min\{s_j^{plan}(t), s_j^{pot}(t), s_j^{dem}(t)\},$$

где $s_j(t), s_j^{plan}(t), s_j^{pot}(t), s_j^{dem}(t)$ – вектор-столбцы текущего выпуска, планируемого выпуска, потенциального выпуска и спроса на продукты, производимые агентом, соответственно. Планируемый выпуск $s_j^{plan}(t)$ рассчитывается из эндогенной модели поведения агента или задается экзогенно. Потенциальный выпуск агента $s_j^{pot}(t)$ рассчитывается по основным факторам производства (основному капиталу, трудовым ресурсам, запасам промежуточных продуктов). Вектор спроса на продукты, производимые j -м агентом $s_j^{dem}(t)$, формируется на рынках соответствующих продуктов со стороны других экономических агентов.

Выпуск агента в денежном выражении зависит от динамики цен на продукты:

$$v_j(t) = s_j(t) \otimes P_j(t);$$

где \otimes – знак поэлементного умножения матриц;

$P_j(t)$ – вектор цен на производимые продукты, устанавливаемые j -м агентом. Цены задаются либо экзогенно, либо рассчитываются при решении оптимизационной задачи максимизации дохода от продаж.

Региональная модель также содержит следующие системы уравнений, объединяющие экономических агентов в единую систему:

- 1) демографические уравнения;
- 2) уравнения, описывающие финансовые потоки;
- 3) балансовые соотношения, описывающие спрос и предложение на рынках товаров и услуг;

4) сценарные параметры, задаваемые экзогенно.

Демографические уравнения реализуют метод передвижки возрастов и воспроизводят динамику численности населения по полу и возрасту. На основании демографических показателей рассчитывается численность трудовых ресурсов и формируется предложение на рынке труда.

Финансовые уравнения агентов описывают поступление денежных средств от продаж и распределение получаемых доходов по различным направлениям использования, в том числе на закупку промежуточных товаров и услуг, выплату всех видов налогов, оплату труда, амортизационные отчисления, а также на инвестиции в основной капитал. Инвестиции агента в основной капитал вычисляются в результате решения оптимизационной задачи, когда объем инвестиций рассчитывается с учетом текущего износа основного капитала, его загрузки, интенсивности потребления капитала при производстве данной продукции и желаемого роста выпуска с учетом бюджетных ограничений. Финансовые ресурсы, создаваемые экономическими агентами, перераспределяются через региональную бюджетную систему, внебюджетные фонды и фонды денежных средств хозяйствующих субъектов. Потребителями региональных финансовых ресурсов являются хозяйствующие субъекты, население региона и федеральный центр в лице федерального бюджета и государственных ВБФ.

Доходная часть консолидированного бюджета региона и территориальных ВБФ формируется за счет налоговых и неналоговых платежей, вычисляемых в моделях экономических агентов с учетом поступлений из Центра. Ставки налогов и межбюджетные соглашения по распределению налоговых и неналоговых поступлений во все уровни бюджетной системы формируются экономическим агентом «органы государственной власти (ОГВ)». Расходная часть консолидированного бюджета формируется на основании доходной части с учетом возможных изменений пропорций расходов денежных средств по основным направлениям расходов, задаваемых агентом «ОГВ». Расходы внебюджетных фондов обслуживают региональные потребности в пенсионном

обеспечении, медицинском и социальном страховании, пособиях по безработице. Эти потребности рассчитываются в модели денежных доходов и расходов населения, которая входит в состав модели домашних хозяйств.

Балансовые соотношения описывают текущий спрос и предложение на моделируемых рынках товаров и услуг. Экономические агенты связаны друг с другом и внешним миром через общие рынки продуктов. Агенты, с одной стороны, поставляют на соответствующие рынки производимую продукцию, формируя предложение, а с другой – приобретают на рынках продукты, необходимые для воспроизводственного процесса, обеспечивая спрос. Спрос и предложение на рынках уравниваются операциями ввоза-вывоза и приростом запасов. Агент «невидимая рука рынка» отвечает за обеспечение динамического равновесия спроса и предложения на рынках продуктов на всем горизонте управления. Целевыми ориентирами этого агента являются стремящиеся к нулю суммарные относительные дисбалансы между спросом и предложением на рынках продуктов, подсчитанные для прироста запасов.

Экзогенный сценарий задает процессы, динамика которых не моделируется явным образом. Эти процессы задаются экспертно с помощью сценарных карт и служат основными источниками динамики и неопределенности модели. Это:

- ◆ цена на нефть и курс доллара;
- ◆ ключевая ставка и ставки налогов всех уровней;
- ◆ индексы производства по разделам и классам сельского хозяйства, добычи полезных ископаемых и обрабатывающих производств (разделы А, В, С);
- ◆ индексы-дефляторы цен по разделам и классам экономики.

Кроме экзогенного сценария динамику модели обеспечивают эндогенные модели поведения экономических агентов, моделирующих разделы экономики D, E, \dots, R, S .

Выпуск разделов D (обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха) и E (водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязне-

ний) зависит от объемов энергопотребления и водопотребления и связан с динамикой промежуточного потребления:

$$v_D(t_k) = (v_D(t_0)(a_{0D}(t_k) \left(\frac{K_D(t_k)}{K_D(t_0)}\right)^{\beta_D} + a_{1D}(t_k)I_M(t_k|t_0))I_D^{def}(t_k|t_0);$$

$$v_E(t_k) = (v_E(t_0)(a_{0E}(t_k) \left(\frac{K_E(t_k)}{K_E(t_0)}\right)^{\beta_E} + a_{1E}(t_k)I_M(t_k|t_0))I_E^{def}(t_k|t_0).$$

Здесь $v_D(t_0), v_E(t_0)$ – выпуски разделов D, E в базовом году;

a_{0D}, a_{0E} – коэффициенты условно-постоянных затрат;

a_{1D}, a_{1E} – коэффициенты условно-переменных затрат;

β_D, β_E – коэффициенты учета влияния расширения производственной базы;

K_D, K_E – стоимость основного капитала разделов D и E ;

$I_M(t_k|t_0)$ – индекс роста объема промежуточного потребления в экономике по отношению к базовому году;

$I_D^{def}(t_k|t_0), I_E^{def}(t_k|t_0)$ – индексы-дефляторы роста цен на продукцию разделов D и E по отношению к базовому году.

Динамика выпуска строительства (раздел F) соответствует динамике инвестиций в основной капитал региона и рассчитывается по формуле:

$v_F(t_k) = d_F(t_k)K(t_k), t_k = t_0, t_1, t_2, \dots, t_N$, где $d_F(t_k)$ – доля строительства в освоении инвестиций;

$K(t_k)$ – сумма инвестиций в основной капитал региона из всех источников;

$[t_0, t_N]$ – интервал прогнозирования.

Доля строительства в освоении инвестиций рассчитывается по отчетным данным и может меняться на интервале прогнозирования.

Выпуск торговли (раздел G) складывается из торговых надбавок:

$$v_G(t_k) = n_G(t_k)(W_M(t_k) + W_K(t_k) + W_C(t_k)).$$

Здесь $n_G(t_k)$ – норма торговых надбавок;

$W_M(t_k), W_K(t_k), W_C(t_k)$ – обороты рынков промежуточных товаров и услуг, инвестиционных товаров и услуг и потребительских товаров и услуг соответственно с учетом ввоза-вывоза.

Норма торговых надбавок рассчитывается по отчетному продуктово-секторному ба-

лансу и может изменяться на горизонте прогнозирования.

Выпуск раздела H (транспортировка и хранение) складывается из транспортных услуг населению $v_{H1}(t_k)$ хозяйствующим субъектам $v_{H2}(t_k)$ и транспортных надбавок с нормой $n_H(t_k)$:

$$v_H(t_k) = v_{H1}(t_k) + v_{H2}(t_k) + n_H(t_k)(W_M(t_k) + W_K(t_k) + W_C(t_k)).$$

Здесь $n_H(t_k)$ – норма транспортных надбавок.

Норма транспортных надбавок рассчитывается по отчетному продуктово-секторному балансу и может изменяться на горизонте прогнозирования.

Выпуск раздела J (деятельность в области информации и связи) связан с динамикой потребления хозяйствующих субъектов и домашних хозяйств:

$$v_J(t_k) = (v_J(t_0)(a_{0J}(t_k) + a_{1J}(t_k)I_M(t_k|t_0) + a_{2J}(t_k)I_{A/X}^{real}(t_k|t_0))I_J^{def}(t_k|t_0).$$

Здесь $v_J(t_0)$ – выпуск раздела в базовом году;

a_{0J}, a_{1J}, a_{2J} – коэффициенты;

$I_M(t_k|t_0)$ – индекс роста объема промежуточного потребления в экономике по отношению к базовому году;

$I_{A/X}^{real}(t_k|t_0)$ – реальные располагаемые денежные доходы населения по отношению к базовому году;

$I_J^{def}(t_k|t_0)$ – индекс-дефлятор роста цен на продукцию раздела J по отношению к базовому году.

Выпуск финансового сектора (раздел K) есть сумма услуг финансового посредничества:

$$v_K(t_k) = d_K(t_0)(s_K(t_k)/s_K(t_0))M(t_k),$$

где $M(t_k)$ – объем промежуточного потребления в экономике региона;

$d_K(t_0)$ – доля услуг финансового посредничества в промежуточном потреблении в базовом году;

$s_K(t_k)/s_K(t_0)$ – динамика ключевой ставки.

Динамика выпуска сектора нерыночных услуг (разделы O, P, Q, R) зависит от трансфертов из регионального и федерального бюджетов, внебюджетных фондов. Динамика транс-

феров из ФБ в региональный бюджет и прямым бюджетополучателям задается сценарно. Динамика финансирования разделов социальной сферы (O, P, Q, R) из регионального бюджета и бюджетов муниципальных образований зависит от наполнения этих бюджетов (налоговых поступлений от хозяйствующих субъектов, домашних хозяйств и безвозмездных поступлений), а также от пропорций распределения бюджетных средств, которые задаются также сценарно.

Динамика выпуска разделов L (деятельность по операциям с недвижимым имуществом), M (деятельность профессиональная, научная и техническая) и N (деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги) задается экзогенно в сценарии в виде индексов производства.

На рис. 2 (позиция 1) показана модель СЭДР. Агенты через рынки объединены в модель воспроизводственного процесса. Там производится валовая добавленная стоимость (ВДС). Далее НДС перераспределяется на конечное потребление и валовое накопление. Модель демографии задает динамику населения и трудовых ресурсов.

Если модель СЭДР дополнить инструментарием прогнозирования и стратегического планирования (см. рис. 2, позиция 2) и инструментарием настройки модели (см. рис. 2, позиция 3), то получим полноценную систему прогнозирования и стратегического планирования.

Инструментарий прогнозирования и стратегического планирования решает на модели весь комплекс прогнозно-стратегических задач. Инструментарий настройки модели работает с отчетными данными, проводит их верификацию, дополнение, балансировку, а также настройку модели на отчетные данные. Ключевым элементом инструментария прогнозирования и стратегического планирования является решатель задач (Solver). Именно он реализует цифровые технологии прогнозирования и стратегического планирования на модели региона.

Solver (решатель задач) разработан в виде отдельного исполняемого модуля Solver.dll. Он решает задачи, сводящиеся к следующей задаче многокритериальной оптимизации:

$$\|E(U, t) - E^0(t)\| \rightarrow \min_{U(t) \in D_U};$$

$$t = t_1, t_2, \dots, t_T; \quad (1)$$

$$E(U, t) = M_E(U, t). \quad (2)$$

Здесь $E^0(t)$ – вектор целевых значений, установленных для показателей $E(t)$;

$U(t)$ – вектор управляющих параметров;

$M_E(U, t)$ – модель (система отношений), позволяющая рассчитывать оценки значений показателей $E(t)$ для того или иного набора управляющих переменных $U(t)$, $U(t) \in D_U$;

D_U – пространство принимаемых решений.

То есть надо подобрать управление $U(t)$, при котором показатели $E(t)$ максимально близко подойдут к заявленным целям $E^0(t)$.

В рамках АИС ПСП Solver решает следующие задачи:

1) балансировка отчетных данных на модели СЭДР (так называемая системная балансировка);

2) настройка коэффициентов модели СЭДР (калибровка);

3) моделирование экономического агента «невидимая рука рынка», поддерживающего равновесие на рынках товаров и услуг;

4) решение задач достижения стратегических целей для всех экономических агентов;

5) работа с циклическими ссылками с помощью рекурсивных переменных.

Задачи решаются в пространстве управленческих решений D_U . Для формирования этого пространства необходимо определить механизмы управления (управляющие параметры $U(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_N(t)]$), которые экономические агенты (см. рис. 1) способны задействовать для достижения заявленных целей в рамках своих компетенций. Выявленные управляющие параметры в рамках своих ограничений $u_1^{min} < u_1(t) < u_1^{max}$, $i = 1, 2, \dots, N$ образуют множество возможных управленческих решений D_U , на котором должна формироваться стратегия поведения, ведущая региональное сообщество от сегодняшнего дня к заявленным целевым ориентирам. В практических задачах количество управляющих переменных N может быть несколько сотен.

Установленные значения управляющих параметров образуют сценарий развития

$U^*(t)$. Возможны следующие технологии работы со сценариями.

Технология 1: «Сценарное прогнозирование регионального развития». По заданному сценарию развития $U^*(t)$ на модели региона $M_E(\cdot)$ рассчитываются траектории показателей регионального развития $E(U^*(t))$ (задача (2)).

Технология 2: «Оценивание достижимости целевых ориентиров». По заданным целевым траекториям $E^0(t)$ на модели региона $M_E(\cdot)$ рассчитывается сценарий развития $U^{opt}(t)$, ведущий к заявленным целям (задача (1)–(2)).

Сценарий развития $U(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_N(t)]$ можно представить в виде матрицы U , где каждый управляющий параметр задан строкой своих значений на горизонте прогнозирования:

$$U = \begin{bmatrix} u_1(t_1) & u_1(t_2) & \dots & u_1(t_T) \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ u_N(t_1) & u_N(t_1) & \dots & u_N(t_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{1,1} & u_{1,2} & \dots & u_{1,T} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ u_{N,1} & u_{N,2} & \dots & u_{N,T} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Сколько управляющих параметров – столько строк в матрице U , сколько прогнозных лет – столько столбцов. При этом решение задачи управления (1)–(2) можно свести к задаче коррекции начального сценария $U^{(0)}$, если представить управляющую матрицу в следующем виде:

$$U = U^{(0)} \otimes K_{корр}, \quad (4)$$

где $K_{корр}$ – корректирующая матрица, в начальный момент состоящая из единиц; \otimes – символ поэлементного умножения матриц.

Корректирующая матрица $K_{корр}$ рассчитывается поэлементным перемножением корректирующих матриц экономических агентов:

$$K_{корр} = K_{ОГВ} \otimes K_{ВО} \otimes K_{X/c} \otimes K_{A/X} \otimes K_X, \quad (5)$$

где $K_{ОГВ}$, $K_{ВО}$, $K_{X/c}$, $K_{A/X}$, K_X – соответствующие корректирующие матрицы агентов «ОГВ», «внешнее окружение», «хозяйствующие субъекты», «домашние хозяйства», «невидимая рука рынка». Все матрицы имеют одинаковую размерность $N \times T$. В практических задачах $N > 100$, $T \leq 20$. Экономические агенты корректируют «свои»

строки, сохраняя в других строках единицы.

В статье [2] предложен эффективный метод поиска оптимальной матрицы $K_{корр}^{opt}$, позволяющий за приемлемое время решать задачи класса (1)–(2) для многих десятков целей и сотен управляющих переменных. Разработанный на основе матричного метода решатель автоматически формирует оптимальный сценария развития:

$$U^{opt} = U^{(0)} \otimes K_{корр}^{opt}, \quad (6)$$

при котором значения целевых показателей максимально близко приближаются к установленным целям с учетом ресурсных ограничений на управляющие воздействия.

Обсуждение

Разработанные методы и цифровые модели в составе автоматизированных систем и прогнозно-аналитических комплексов прошли широкую апробацию более чем в 30 регионах (субъектах РФ). Участие в процедурах стратегического планирования потребовало полного соответствия модельного инструментария действующей в регионе статистике и максимального использования в прогнозных расчетах региональных статистических данных. Модельный инструментарий калибруется на статистическом материале исследуемого региона.

Процедура прогнозирования социально-экономического развития осуществляется в 3 этапа. На первом этапе формируется информационная база по исследуемому субъекту РФ – собираются статистические данные по демографическим и трудовым ресурсам, макроэкономике и промышленному производству, деятельности малого и среднего бизнеса, инвестиционным процессам, региональным финансам, уровню жизни населения и внешнеэкономической деятельности в субъекте РФ. Затем осуществляется процесс проверки данных, их балансировка. Вносятся исправления, при необходимости вводятся уточняющие показатели. Основными проблемами являются неполнота отчетных данных и их противоречивость. Как правило, на момент прогнозирования отсутствует более трети отчетных данных базового (последнего отчетного) года. Для ре-

шения проблем неполноты и противоречивости данных используется инструментарий допполнения и балансировки отчетных данных (см. рис. 2., позиция 3), который автоматически решает эту проблему. Результатом этого этапа являются сбалансированные данные, используемые в дальнейшем прогнозировании.

На следующем этапе прогнозирования происходит ввод целевых ориентиров $E^0(t)$ и сценарных параметров $U^*(t)$. Значения целевых показателей берутся из документов стратегического планирования федерального и регионального уровней. Внешние параметры или параметры среды формируются на основе среднесрочных прогнозов социально-экономического развития Минэкономразвития России, Консенсус-прогноза НИУ «ВШЭ», инвестиционных и производственных планов предприятий, экспертных оценок. Результатом этого этапа являются конкретные значения сценарных параметров развития субъекта РФ по нескольким вариантам развития. На третьем этапе формируются прогнозные показатели по сценариям по следующим блокам: демографическое развитие, трудовые ресурсы и занятость, ВРП и производственная деятельность, малый и средний бизнес, финансовые ресурсы, консолидированный бюджет, инвестиционные процессы, уровень жизни населения, внешнеэкономическая деятельность. Использование АИС ПСП, разработанных в СГЭУ, обеспечивает сбалансированность полученных прогнозных результатов по всем показателям и на всем горизонте прогнозирования.

В настоящее время разработанный цифровой инструментарий используется при стратегическом планировании развития Дальневосточного федерального округа (ДФО). Разработаны цифровые модели городских округов (Анадырь, Магадан, Белогорск, Биробиджан, Комсомольск-на-Амуре, Петропавловск-Камчатский и др.), всех 11 субъектов РФ, входящих в ДФО и ДФО в целом. На этих моделях отрабатываются разнообразные сценарии развития территорий, входящих в состав ДФО, учитывающие возможные изменения внешней обстановки и условий финансирования инвестиционных проектов.

Заключение

Цифровизация технологий прогнозирования и стратегического планирования регионального развития позволяет в десятки раз ускорить процессы формирования стратегических решений на основе оцифрованных процедур целеполагания и прогнозирования. При этом существенно возрастает качество этих решений, поскольку цифровые решатели позволяют отбирать наилучшие варианты среди множества отработанных альтернатив.

Основными компонентами цифровых технологий прогнозирования и стратегического планирования являются:

- ◆ цифровая модель региона (субъекта Российской Федерации), описывающая социально-экономическую деятельность региона с необходимой подробностью;

- ◆ универсальный решатель, позволяющий за приемлемое время решать на модели региона прямые и обратные задачи большой размерности;

- ◆ инструментарий настройки модели региона на доступную региональную статистику.

Разработанный в СГЭУ цифровой инструментарий эффективно применяется при решении практических прогнозных и стратегических задач для широкого спектра экономических территорий: городских округов, субъектов РФ, агломераций, федеральных округов. Этот инструментарий успешно возмещает пробел, существующий на рынке программных продуктов.

Полученные результаты являются основой для дальнейших исследований, важнейшим из которых является более глубокая детализация процессов прогнозирования и стратегического целеполагания региональной экономики. Это может быть сделано только путем использования разработанного цифрового инструментария в реальных проектах при решении реальных проблем совместно с реальными лицами, принимающими решения. Дальнейшее участие в практических задачах позволит повысить адекватность результатов моделирования и стратегического прогнозирования.

Список источников

1. Цифровое стратпланирование / Министерство экономического развития Российской Федерации. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/strateg_planirovanie/cifrovoe_strat-planirovanie/ (дата обращения: 10.04.2023).
2. Цыбатов В.А. Модели и методы стратегирования регионального развития // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2015. № 3 (125). С. 49–66.
3. Цыбатов В.А., Важенина Л.В. Методические подходы к анализу и прогнозированию развития топливно-энергетического комплекса и газовой промышленности в регионе // Экономика региона. 2014. № 4. С. 188–198.
4. Цыбатов В.А. Формирование цифрового каркаса стратегии регионального развития – от целевого плана до дорожной карты // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2020. № 7 (189). С. 25–39. doi:10.46554/1993-0453-2020-7-189-25-39.
5. Dixon P.B., Koopman R.B., Rimmer M.T. The MONASH style of computable general equilibrium modeling: a framework for practical policy analysis // Handbook of Computable General Equilibrium Modeling / P.B. Dixon, D.W. Jorgenson (eds.). North-Holland, Amsterdam, 2013. Pp. 23–103.
6. Wickens M. Macroeconomic theory: a dynamic general equilibrium approach. Princeton : Princeton University Press, 2008. 477 p.
7. Harrison V., Pearson K. An Introduction in GEMPACK. 5th ed. Melbourne, Australia : Center of Policy Studies and Impact Project, 2000.
8. Rutherford T. Applied general equilibrium modeling with MPSGE as a GAMS subsystem: an overview of the modeling framework and syntax // Computational Economics. 1999. Vol. 14. Issue 1–2. Pp. 1–46.
9. McCandless. The ABCs of RBCs: an introduction to dynamic macroeconomic models. Cambridge, Massachusetts : Harvard University Press, 2008. 421 p.
10. Edge R.M., Gurkaynak R.S. How useful are estimated DSGE model forecasts for central bankers? // Brookings Papers on Economic Activity. 2010. Vol. 41 (2). Pp. 209–259.
11. Могилат А., Селезнев С., Жабина С. О подготовке сценарного макроэкономического прогноза и модельном аппарате Банка России / Банк России. 2021. 16 с.
12. Samuelson D.A., Charles M.M. Agent-based modeling comes of age // OR/MS Today. 2006.

13. A data-rich agent-based decision support model for hospital consolidation / Zh. Yu , W. Rouse, N. Serban, E. Veral // Journal of Enterprise Transformation. 2016. Vol. 6. Issue 3–4. Pp. 136–161. doi:10.1080/19488289.2016.1248802.

14. Salem H., Attiya G., El-Fishawy N. A survey of multi-agent based intelligent decision support system for medical classification problems // International Journal of Computer Applications. 2015. Vol. 123. Issue 10. Pp. 20–25.

15. Chesney T., Gold S., Trautrim A. Agent based modelling as a decision support system for shadow accounting // Decision Support Systems. 2017. Vol. 95. Pp. 110–116. doi:10.1016/j.dss.2017.01.004.

16. Агент-ориентированная демографическая модель Дальнего Востока как инструмент поддержки принятия управленческих решений / Е.А. Россосанская, Т.А. Дорошенко, Н.А. Самсонова [и др.] // Государственное управление. Электронный вестник. 2022. № 94. С. 203–224.

17. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic : учебник. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2017. 400 с.

References

1. Digital Stratplanning / Ministry of Economic Development of the Russian Federation. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/strateg_planirovanie/cifrovoe_strat-planirovanie/ (date of access: 10.04.2023).

2. Tsybatov V.A. Models and methods of strategizing regional development // Vestnik of Samara State University of Economics. 2015. No. 3 (125). Pp. 49–66.

3. Tsybatov V.A., Vazhenina L.V. Methodological approaches to the analysis and forecasting of the development of the fuel and energy complex and the gas industry in the region / The economy of the region. 2014. No. 4. Pp. 188–198.

4. Tsybatov V.A. Formation of the digital framework of the regional development strategy – from the target plan to the roadmap // Vestnik of Samara State University of Economics. 2020. № 7 (189). Pp. 25–39. doi:10.46554/1993-0453-2020-7-189-25-39.

5. Dixon P.B., Koopman R.B., Rimmer M.T. The MONASH style of computable general equilibrium modeling: a framework for practical policy analysis // Handbook of Computable General Equilibrium Modeling / P.B. Dixon, D.W. Jorgenson (eds.). North-Holland, Amsterdam, 2013. Pp. 23–103.

6. Wickens M. Macroeconomic theory: a dynamic general equilibrium approach. Princeton : Princeton University Press, 2008. 477 p.

7. Harrison V., Pearson K. An Introduction in GEMPACK. 5th ed. Melbourne, Australia : Center of Policy Studies and Impact Project, 2000.

8. Rutherford T. Applied general equilibrium modeling with MPSGE as a GAMS subsystem: an overview of the modeling framework and syntax // Computational Economics. 1999. Vol. 14. Issue 1–2. Pp. 1–46.

9. McCandless. The ABCs of RBCs: an introduction to dynamic macroeconomic models. Cambridge, Massachusetts : Harvard University Press, 2008. 421 p.

10. Edge R.M., Gurkaynak R.S. How useful are estimated DSGE model forecasts for central bankers? // Brookings Papers on Economic Activity. 2010. Vol. 41 (2). Pp. 209–259.

11. Mogilat A., Seleznev S., Zhabina S. On the preparation of a scenario macroeconomic forecast and the model apparatus of the Bank of Russia / Bank of Russia. 2021. 16 p.

12. Samuelson D.A., Charles M.M. Agent-based modeling comes of age // OR/MS Today. 2006.

13. A data-rich agent-based decision support model for hospital consolidation / Zh. Yu , W. Rouse, N. Serban, E. Veral // Journal of Enterprise Transformation. 2016. Vol. 6. Issue 3–4. Pp. 136–161. doi:10.1080/19488289.2016.1248802.

14. Salem H., Attiya G., El-Fishawy N. A survey of multi-agent based intelligent decision support system for medical classification problems // International Journal of Computer Applications. 2015. Vol. 123. Issue 10. Pp. 20–25.

15. Chesney T., Gold S., Trautrim A. Agent based modelling as a decision support system for shadow accounting // Decision Support Systems. 2017. Vol. 95. Pp. 110–116. doi:10.1016/j.dss.2017.01.004.

16. Agent-oriented demographic model of the Far East as a tool for supporting managerial decision-making / Е.А. Россосанская, Т.А. Дорошенко, Н.А. Самсонова [et al.] // Public Administration. Electronic bulletin. 2022. No. 94. Pp. 203–224.

17. Karpov Yu.G. Simulation modeling of systems. Introduction to modeling with AnyLogic : textbook. St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2017. 400 p.

Информация об авторе

В.А. Цыбатов – доктор экономических наук, профессор кафедры региональной экономики и управления Самарского государственного экономического университета.

Information about the author

V.A. Tsybatov – Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Regional Economics and Management of Samara State University of Economics.

Статья поступила в редакцию 05.07.2023; одобрена после рецензирования 03.08.2023; принята к публикации 29.08.2023.

The article was submitted 05.07.2023; approved after reviewing 03.08.2023; accepted for publication 29.08.2023.