

РАЗДЕЛ IV. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ЭКОНОМИКЕ

УДК 338.22.01

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СТРАНЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Т.П. Данько, д. экон. наук, проф. кафедры маркетинга**Е.М. Петрикова, к.экон.наук, ст. преп. кафедры финансов и цен****С.М. Петрикова, к.экон.наук, ст. преп. кафедры банковское дело**Российская экономическая академия им. Г.В.Плеханова, 115998, г. Москва, ул. Стремянный переулок, 36
Электронный адрес: tpdanko@gmail.com

Представлены основные подходы к современной экономической теории и математической практике, используемые в имитационном моделировании экономических процессов. Экономико-математическое моделирование рассматривается в приложении к российской экономике.

Показано, как построить динамическую модель развития экономики России и как она может быть расширена для учёта более сложных зависимостей и взаимодействий, чтобы дать более глубокую и точную информацию об оптимальном экономическом развитии страны в современных условиях.

Анализируются имеющиеся программные платформы по имитационному моделированию и используемые информационно-аналитические ресурсы; сделаны выводы о направлениях их использования и совершенствования в системно-динамическом моделировании.

Ключевые слова: имитационное моделирование; системная динамика; агентское моделирование; сценарный анализ; оптимизационный анализ.

Исследование проблем прогнозирования экономики страны и ее регионов все время находилось в центре внимания отечественных и зарубежных экономистов.

Сегодня все больший интерес вызывает поиск подходов к развитию экономики с позиции живых систем. Ситуационный центр ФПК ПВ, созданный в РЭА им. Г.В. Плеханова в рамках приоритетного национального проекта «Образование» в 2007–2008 гг., реализуя подход био-, инфо-когнитивных технологий, взялся за осуществление экономико-математического моделирования, прогнозирующего динамику развития национальной экономики в зависимости от управляющих воздействий со стороны государства.

Идея данной модели возникла в связи с идеей создания лаборатории анализа кластерных инициатив¹ и идеей анализа экономического потенциала региона.

По задумке авторов проекта², концепция модели развития экономики России будет представлять собой механизм, обеспеченный математическим аппаратом, входящими и выходящими статистическими данными, регулирующими внешними и внутренними управляющими воздействиями на экономику. На выходе представленные статистические показатели будут иметь международную межстрановую сопоставимость (рис. 1).

Авторами при построении динамической модели развития экономики России было рассмотрено множество моделей и принято решение использовать экономико-математические разработки Вычислительного центра РАН (А.А. Петров, И.Г. Поспелов, А.А. Шананин).

¹ В рамках реализации Приоритетного национального проекта «Образование» в 2007–2008 г. был заключен государственный контракт № 13/08 ПНП-ОК от 22 октября 2008 г. между Российской экономической академией им. Г.В.Плеханова и ООО «ИБС Платформикс», в рамках которого были выполнены работы по созданию лаборатории анализа кластерных инициатив в российской экономике на

базе ПО лабораторий Сетевой учебной корпорации РЭА им. Г.В.Плеханова.

² В состав рабочей группы проекта по созданию динамической модели развития экономики России на основе сценарного и оптимизационного анализа под научным руководством д.э.н., проф., заслуженного работника высшей школы Тамары Петровны Данько входило 12 человек: М.А. Ходимчук, О.А. Косоруков, А.Ю. Довженко, В.А. Николаенко, В.И. Бондаренко, С.М. Петрикова, Е.М. Петрикова, М.В. Кернацеский, А.В. Клягин, Е.С. Куценко, Ж.Б. Орманова, В.В. Семикашев.



Рис. 1. Концепция моделирования экономики развития России

В процессе работы экономико-математическая модель, разрабатываемая указанными авторами в ВЦ РАН с начала 90-х гг. XX в., была проверена и адаптирована к реальным экономическим условиям конца 2009 г. [2].

В процессе проведения исследования разработчики модели поставили перед собой следующие основные задачи:

- 1) выбор подходов к макроэкономическому моделированию экономических процессов и их сценарная корректировка в соответствии с целью проекта;
- 2) выбор информационно-аналитической базы для проекта; определение групп критериев международной сопоставимости экономик и отбор наиболее значимых для проекта; определение перечня внешних и внутренних управляющих воздействий.

Итак, на первом этапе в процессе выбора способа макроэкономического моделирования авторами были рассмотрены и изучены следующие подходы, которые могут быть представлены в следующей группировке.

1. Регрессионные модели и модели RIM (MANAMORU, QUMMIR)

В рамках данного подхода используются эконометрические уравнения, расчеты по формулам и регрессионные зависимости. Однако в случае использования данных моделей при построении модели развития экономики России существуют ограничения: во-первых, в равновесных моделях невозможно прогнозировать кризисные процессы, во-вторых, в регрессионных зависимостях невозможно учесть качественные изменения в системах, соответственно, данные модели обладают слабыми прогностическими возможностями.

2. Макроэкономические модели баланса спроса и предложения (Е.Домар, Р.Харрод, Д.Хикс, А.Маршалл и т.д.)

В случае использования данных моделей при построении динамической модели развития экономики России имеется максимально обобщенная постановка задачи, что существенно ограничивает их применение в имитационном моделировании. Однако именно данные макроэкономические модели, по мнению разработчиков, позволят верифицировать изменения основных показателей в модели.

3. Макроэкономические модели на ориентированных графах

Применение данного подхода в имитационном моделировании ограничивается динамикой равновесных моделей в пределах одного шага, а также тем, что данные модели принципиально не работают с непрерывными числовыми данными. В то же время данные по моделям могут быть использованы для построения когнитивного (причинно-следственного) каркаса модели.

4. Системно-динамическое моделирование

В системно-динамическом моделировании используется представление социально-экономических процессов в виде потоков, а состояние социально-экономических объектов в виде уровней (интеграторов). Математический аппарат в системной динамике – теория систем обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. При использовании данного подхода существует сложность определения мультипликативных множителей, которые, как правило, могут быть заменены статистическими данными или экспертными оценками.

5. Агентское моделирование

Агентское моделирование позволяет исследовать поведение децентрализованных агентов и то, как оно определяет поведение всей системы в целом. При разработке агентной модели инженер вводит параметры агентов (это могут быть люди, компании, активы, проекты, транспортные средства, города, животные и т.д.), определяет их поведение, помещает их в некую окружающую среду, устанавливает возможные связи, после чего запускает моделирование. Из

индивидуальных поведения агентов образуется глобальное поведение моделируемой системы.

Для рассмотрения преимуществ каждого из обозначенных макроэкономических подходов и выбора наиболее подходящего способа динамического моделирования были выделены критерии, систематизированные в матрицу возможностей (рис. 2.).

Критерии анализа, используемые при выборе подхода к макроэкономическому моделированию:

- 1) временной горизонт моделирования (кратко- и долгосрочный);
- 2) вероятность слома тенденций развития моделируемой системы (низкая и высокая);
- 3) постановка цели и определение задач (стратегическая и тактическая);
- 4) степень воздействия на моделируемую систему субъекта управления – заказчика, пользователя (высокая, низкая);
- 5) прогностическая способность модели (адекватность моделируемой системе и поставленной цели).

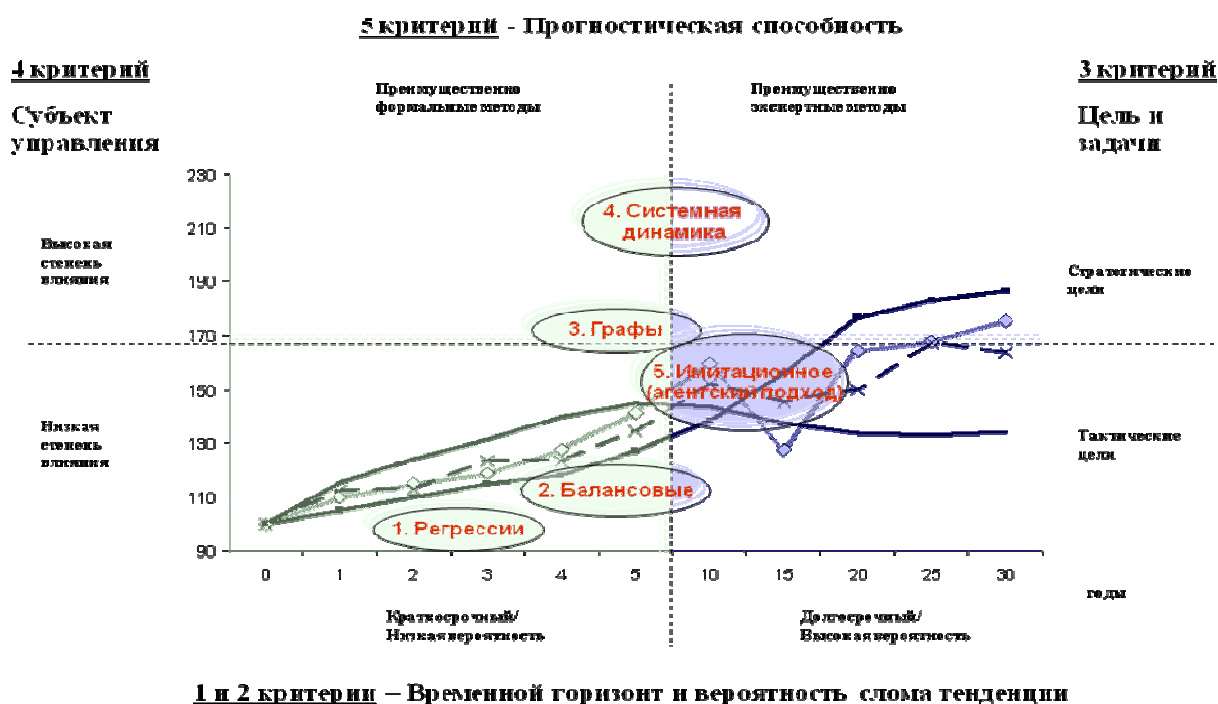


Рис. 2. Матрица возможностей моделирования

Таким образом, после тщательного анализа в качестве основного подхода была выбрана методология системно-динамического моделирования.

Далее, для того, чтобы методология системно-динамического моделирования могла быть приложена к модели, необходимо произвести проработку когнитивной карты модели.

Для когнитивной карты модели были рассмотрены производственные и финансовые взаимосвязи важнейших секторов российской экономики по методологии СНС: нефинансовый и финансовый секторы, сектор домашних хозяйств, сектор государственного управления и сектор «остальной мир» (рис. 3).

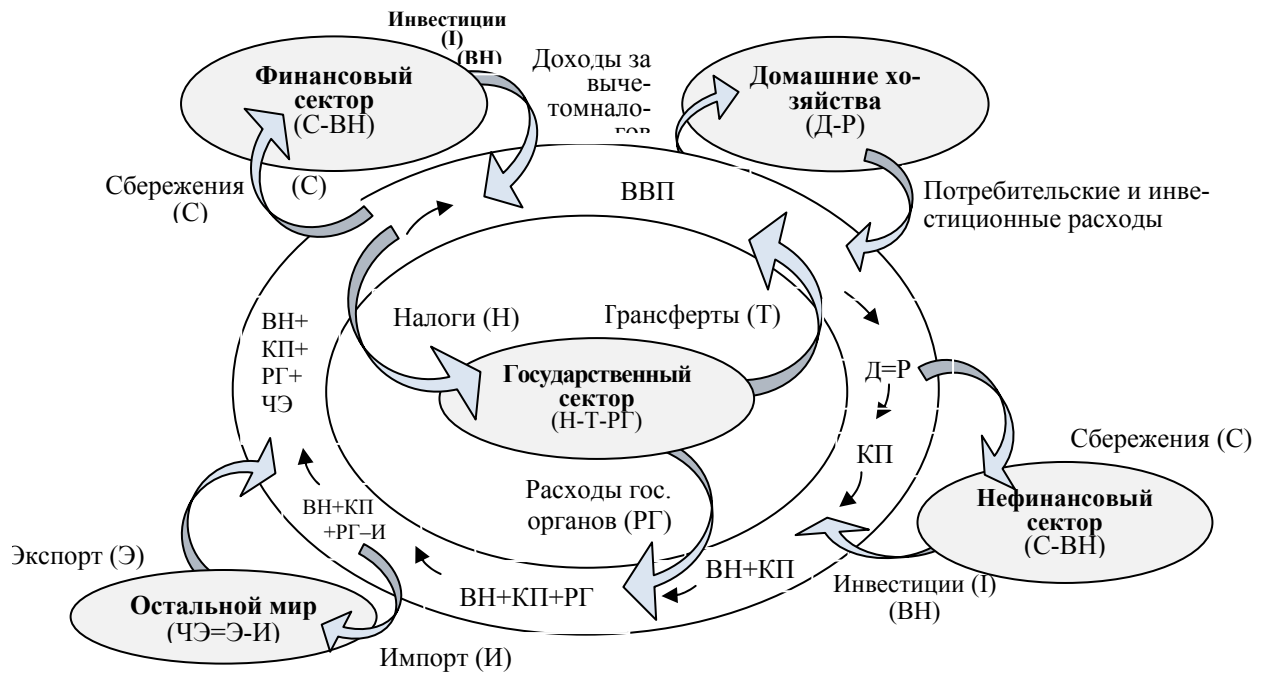


Рис. 3. Межсекторные взаимосвязи в макроэкономике

Государственный сектор экономики осуществляет сбор налогов и оплату трансфертов таким образом, чтобы располагать достаточными финансовыми ресурсами для финансирования государственных расходов (H-T-PG). В случае превышения расходов бюджета над доходами ($H > T + PG$) дефицит может быть компенсирован за счет заимствований у негосударственного сектора экономики ($H + (C - BH) = T + PG$) или сектора «остальной мир» ($H + (I - Э) = T + PG$). Негосударственный сектор, включающий домашние хозяйства и нефинансовый сектор экономики, использует свои финансовые ресурсы на инвестиции путем накопления сбережений ($C > BH$) или заимствований ($C < BH$) у других секторов экономики (государственный и «остальной мир»). «Остальной мир» формирует приток или отток ресурсов как разницу между импортом и экспортом товаров, работ, услуг, трансфертов и капитала.

С помощью данной когнитивной карты модели можно выявить и проанализировать возможные направления развития тех или иных

процессов в экономике еще на этапе планирования, до того, как те или иные внешние или внутренние управляющие воздействия будут использованы, а управленческие решения претворены в жизнь. Необходимо отметить, что данные межсекторные взаимосвязи не являются совершенным и полным представлением обо всех макроэкономических процессах в экономике, но именно данный механизм позволяет визуальное представить поступления ресурсов и направления их использования в воспроизводственном процессе.

На втором этапе осуществлялся подбор информационно-аналитической базы по отобранным наиболее значимым для проекта критериям международной сопоставимости экономики и определение перечня внешних и внутренних управляющих воздействий в модели. Подбор статистики для модели требует особой тщательности и осведомленности, так как существуют как плюсы, так и минусы использования каждого из источников информации (табл. 1).

Таблица 1

Источники информации для динамического моделирования

Источники информационной базы	Плюсы	Минусы
Межотраслевые балансы	Годен к использованию	Статистика 1995 г.
Отраслевая статистика	Используется 55 видов отраслей	1. Нет единой методологии агрегирования; 2. Закрытость входной информации для расчета

Окончание табл. 1

Источники информационной базы	Плюсы	Минусы
Система национальных счетов (СНС)	1. Международная сопоставимость; 2. 10 областей, группирующие отрасли; 3. СНС имеют «ресурсы» и «использование» в обобщенном виде (заменитель МОБ)	1. Национальная статистическая отчетность не интегрирована с методологией СНС; 2. Параллельные системы счета показателей государственными органами
Прогнозы отраслевых министерств (МЭР, Минфин, Минтранс, Минэнерго, Минпромторг)	Прогнозы имеют долгосрочный характер	1. Отсутствие прозрачности; 2. Представительность по выборочным отраслям (МЭР, Минфин)

Для того чтобы динамическая модель экономики страны позволила своевременно оценивать влияние внешних воздействий на национальную экономику и оперативно реагировать на них и осуществлять оперативный контроль и корректировку управляющих воздействий со стороны регулирующих органов, были отобраны критерии международного сопоставления экономик и выработан перечень управляющих воздействий. Задача модели требовала отработки системы индикаторов, сопоставимых с индикаторами международных оценок и межстранового сопоставления.

Среди критериев были выделены следующие группы показателей:

- по инновационности и конкурентоспособности экономики;
- производительности труда и уровню жизни населения;
- энергоэффективности и экологии;
- инфраструктуре;
- финансовому и внешнеэкономическому секторам экономики.

Вектор раскрытия этих групп накладывал еще одно ограничение – желание через экономические показатели прописать политические вектора. Для этого была составлена базовая матрица взаимовлияния экономических индикаторов и политических интересов. Наполнение этих матриц привело группу к необходимости экспертной оценки и взвешиванию сопоставимых критериев и учету сопоставимой информации. Наибольшую помощь в этом вопросе оказали институционалисты, которые внесли существенные добавления в моделирование матрицы. После многочисленных обсуждений матрица приобрела следующий вид:

1. Повышение уровня и качества жизни населения (занятости и производительности труда, индекса развития человеческого потенциала, дифференциация налоговой политики, снижение уровня безработицы, др.).

2. Перенос политических акцентов на системные преобразования в инфраструктурных отраслях экономики (энергетика, транспорт, связь, образование, здравоохранение).

3. Приоритетное управление системными инновациями и технологиями.

4. Политика поддержки слаборазвитых слоев общества (сценарное изменение векторов формирования денежных потоков).

5. Разработка необходимых нормативно-правовых актов, обеспечивающих реализацию политических векторов.

Выделение матриц позволило переструктурировать и доуточнить определение базовых оптимизаторов проекта.

Первые этапы концептуального проигрывания проекта позволили установить, что первый, второй и третий политические вектора объективно и комфортно отражаются в экспертной оценке прогнозно-аналитического подхода проекта и являются взаимодополняющими и взаимосвязанными.

Что касается четвертого и пятого векторов, однозначности здесь нет, однако с позиции теории целостности мы считали возможным и необходимым включить эти критерии, поскольку в таком случае восприятие проекта будет не только целостным, но и структурно более системным.

Когда эти критерии были заложены в модель, оказалось, что они обладают эффектом взаимодополнения и взаимосвязи.

Последнее затруднение при работе над проектом проявилось в выборе информационно-аналитической базы исследования. Как ни парадоксально, это оказалось самым сложным. Прежде всего нужно было отобрать информацию по модели, которая бы отражала процессы, не только происходящие в экономике, но и обеспечивающие ее развитие. В ходе анализа возникло несколько информационных слоев – межотраслевой баланс считается самым емким и насыщенным полем. Однако детальные данные меж-

отраслевого баланса содержатся в балансе 1995 г., а следующий детальный межотраслевой баланс будет готов только к 2012 г., что для нашей задачи являлось недопустимым. Но, используя идеологию межотраслевого баланса, группа обратила внимание на СНС ООН 1993, которая является некой альтернативной системой. Территория национальных счетов показалась группе емкой, так как она набирает силы и позволяет проводить сравнения с другими страновыми экономическими средами. Однако длительной временной базы этот источник информации не содержит, поэтому возникли сложности.

Существенные затруднения при составлении информационно-аналитической базы ресур-

сов возникли также из-за низкой прозрачности показателей и оттого, что методология счета большинства из показателей закрыта. В результате – сложность поиска не только информационно-аналитического поля, но и взвешивания решений, которые позволили бы данные сложности преодолеть и устранить.

Внешние и внутренние управляющие воздействия на экономику представлены набором наиболее актуальных на сегодняшний день инструментов. Внешние управляющие воздействия на экономику осуществляются через индикаторы мировых товарных и финансовых рынков (см. табл. 2).

Таблица 2

Индикаторы мировых товарных и финансовых рынков

Рынки	Индикаторы внешних воздействий	Отражение в государственной макроэкономической отчетности
ТОВАРНЫЕ		
Нефтяной	Цены на нефть Urals (мировые), долл. / барр.	Экспорт нефти, млн. т
	Добыча нефти и нефтепродуктов, млн. т	Экспорт нефтепродуктов, млн. т
Газовый	Цены на газ, долл./тыс. куб. м	Экспорт природного газа, млрд. куб. м
	Добыча газа, млрд. куб.м	
Стали	Производство стали, млн. т	Экспорт стали и сталилитейной продукции, млн. т
Золота	Цены на золото, долл. / унция	Экспорт золота, млн. т
	Добыча золота, млн. т	
Продукции машиностроения	Цены на продукцию машиностроения, долл. / ед.	Экспорт/импорт машин, оборудования и транспортных средств, млрд. долл. США
С/х продукции	Цены на с/х продукцию, долл. / млн. т	Экспорт/импорт с/х продукции, млрд. долл. США
Электроэнергии	Цены на электроэнергию, долл. / кВт	Экспорт/импорт электроэнергии, млрд. долл. США
	Производство электроэнергии, кВт	
Услуг	Грузовые перевозки, млрд . долл США	Экспорт/импорт услуг, млрд. долл. США
	Пассажирские перевозки, млрд . долл США	
	Услуги связи, млрд. долл. США	
	Строительные услуги, млрд . долл .США	
	Компьютерные и информационные услуги, млрд. долл. США	
	Роялти и лицензионные платежи, млрд. долл. США	
	Прочие деловые услуги, млрд. долл. США	
	Услуги в сфере культуры и отдыха, млрд. долл. США	
	Государственные услуги, млрд. долл. США	
ФИНАНСОВЫЕ		
Валютный	Курс евро (среднегодовой), долларов США за евро	Пересчет по валютным курсам
Кредитный	Ссуды и займы, млрд. долл. США	Экспорт/импорт долгосрочного капитала, млрд долл. США
Фондовый	Ценные бумаги, млрд. долл. США	Экспорт/импорт краткосрочного капитала, млрд долл. США
Страховой	Страховые услуги, млрд. долл США	Экспорт/импорт страховых услуг, млрд. долл. США

Окончание табл. 2

Рынки	Индикаторы внешних воздействий	Отражение в государственной макроэкономической отчетности
ФИНАНСОВЫЕ		
Инвестиционный	Прямые инвестиции (ПИИ), млрд. долл США	Экспорт/импорт ПИИ, млрд. долл. США
	Портфельные инвестиции, (ПОИ) млрд. долл США	Экспорт/импорт ПОИ, млрд. долл. США
	Финансовые услуги, млрд долл США	Экспорт/импорт финансовых услуг, млрд. долл. США

Внутренние управляющие воздействия на экономику осуществляются посредством денежно-кредитной, бюджетно-налоговой, таможенной и административной политик. Данный перечень не является исчерпывающим и постоянно может быть скорректирован [1].

Далее, вся работа по макроэкономическому анализу системы сводится к последовательному выполнению нескольких шагов. Сначала делается качественный анализ: составляется когнитивная карта – определяются в модели на качественном уровне причинно-следственные связи между объектами. После этого процесса определяются количественные зависимости на основе различных источников информации – математических моделей, экспертного опыта, теоретических и практических публикаций и т.д. Напомним, что после тщательного анализа на первом этапе в качестве основного подхода, выбранного для реализации экономико-математической модели, была выбрана методология системно-динамического моделирования. При использовании теории системной динамики экономика описывается в виде математической модели, в которой все бизнес-задачи и бизнес-процессы представляются как система взаимосвязанных исчисляемых показателей. С помощью программной платформы для создания системно-

динамических моделей «PowerSim Studio 8» данные показатели заведены в модель, которая реализуется методами визуального программирования. Данный инструмент относится к классу визуальных средств структурного моделирования и функционально его обеспечивает, позволяя полностью учесть сложность и многозначность процессов современной экономики (рис. 4):

- механизм сценарного анализа, т.е. оперативного сравнения различных наработанных вариантов в полном объеме расчетов;
- механизм сравнительного анализа чувствительности решения к изменению различных параметров;
- оптимизационный механизм с помощью постановки и решения многопараметрической, многокритериальной и динамической оптимизационной задачи;
- возможность работы с неопределенными и случайными данными, а также возможность учета неполноты и вероятностного характера данных;
- возможность доработки модели (ввода новых данных, новых вводных или выходных параметров, новых связей и зависимостей).

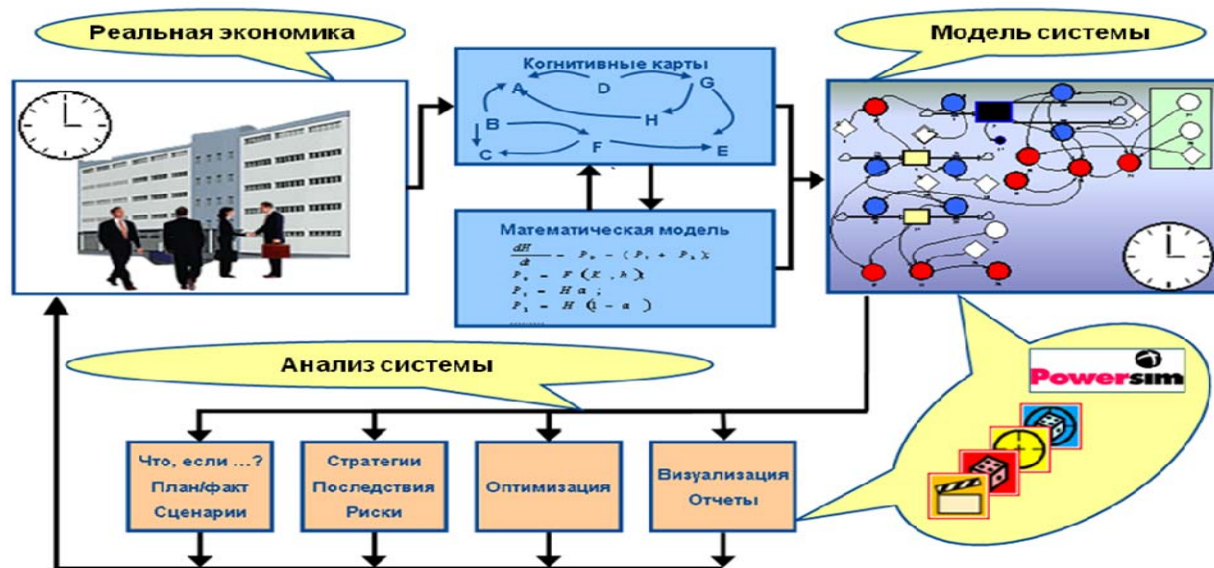


Рис. 4. Методология системно-динамического моделирования

После того как в модель вводятся математические зависимости, определяемые системой исчисляемых показателей, которая решается численными методами, решение, представляемое графиками и таблицами, подвергается анализу. После дополнений и оптимизации модели делаются рекомендации к управленческим решениям.

Таким образом, системно-динамическая модель хотя и не является совершенно точным представлением реальности, но может быть использована для принятия более обоснованных решений. Особенно эффективно применение системно-динамических моделей в условиях неопределенности, когда применение традиционных оптимизационных моделей крайне затруднительно ввиду их большой размерности [3].

Модель межотраслевого баланса

Общая характеристика имитационной модели процесса формирования межотраслевого баланса

Модель рассматривает экономику в целом как сложный экономический объект. «Агентами» модели являются отрасли. Модель описывает формирование и распределение ресурсов на двух уровнях: отраслевом и народно-хозяйственном. Отрасли делятся на два типа: производящие запасаемую продукцию (тип S) и производящие незапасаемую продукцию (тип NS). В разработанном варианте модели к типу NS относятся 3 отрасли: электроэнергетика, торговля и транспорт.

Имитация процесса формирования межотраслевого баланса ведётся поэтапно. Каждый этап соответствует условному периоду времени – «недельному» производственному циклу. Четыре недели условно составляют один месяц, а в году условно принято сорок восемь недель. Таким образом, расчёты, проведенные для 48 тактов, имитируют функционирование экономики в течение одного года.

В модели используются следующие параметры:

$(A)_{ij}$ – матрица коэффициентов прямых затрат ресурса i -го вида на производство единицы продукции j -й отрасли;

$(transport)_{ij}$ – матрица коэффициентов транспортных наценок для доставки ресурса i -го вида в j -ю отрасль;

$(trade)_{ij}$ – матрица коэффициентов торговых наценок для продажи ресурса i -го вида j -й отрасли;

$\overline{M}(t)$ – мощности отраслей во время t -го такта имитации, которые могут моделироваться внутри модели, либо задаваться экзогенно;

$(C)_{ij}(t)$ (где $c_{ij}(t) \in [0,1]$) – матрица коэффициентов возвратности (экономного использования) ресурса i в j -ой отрасли, задаваемая экзогенно;

$\overline{IM}(t)$ – вектор импорта продукции отраслей во время t -го такта, который либо моделируется внутри модели, либо задаётся экзогенно;

ω_j – множество, в которое входят номера тех отраслей, чья продукция может ограничивать производство j -го ресурса (например, продукция сельского хозяйства не ограничивает производство электроэнергии, поэтому номер сельского хозяйства не принадлежит множеству ω_1) – задаются экзогенно; в это множество не входят номера отраслей, производящих незапасаемые виды продукции, т. е. $\omega_j \cap S = \emptyset$.

Также в модели используются переменные:

$Z_{ij}(t)$ – матрица запасов i -го вида ресурса в j -ой отрасли к моменту времени t ;

$Z_i(t)$ – вектор запасов i -го вида ресурса на уровне отрасли к моменту времени t – и экзогенные переменные, задаваемые до начала 1-го такта имитации:

$(Z)_{ij}(0)$ – матрица запасов продукции i -го отрасли в j -ой отрасли на начало года;

$Z_i(0)$ – вектор запаса i -го вида ресурса на уровне отрасли на начало года.

Распределение запасов в отраслях на продукцию, идущую в производство и в запасы

Функционирование отрасли моделируется через политику формирования и использования запасаемых ресурсов, определяющую их затраты и связь затрат с выпуском. Каждый t -ый такт имитации начинается с распределения, для всех отраслей, i -го запасаемого ресурса в j -ой отрасли $Z_{ij}(t-1)$, которые уже имеются на момент времени $t-1$. Распределение происходит в соответствии с одним из решающих «правил первоначального распределения запасов» (о самих правилах более подробно будет рассказано ниже) на ресурсы, идущие непосредственно в производство во время t -го такта имитации $\tilde{X}_{ij}(t)$ и ресурсы, идущие в запасы $\tilde{Z}_{ij}(t)$, которые перейдут в следующий цикл. Таким образом, предварительное распределение ресур-

сов в отраслях удовлетворяет тождеству $Z_{ij}(t-1) = \tilde{X}_{ij}(t) + \tilde{Z}_{ij}(t) =$

$$= m_{ij}^x(t) * Z_{ij}(t-1) + m_{ij}^z(t) * Z_{ij}(t-1),$$

где $m_{ij}^x(t) + m_{ij}^z(t) = 1$. Данное распределение происходит только для отраслей, продукция которых считается запасаемой, т.е. $i \in S$. Для отраслей, продукция которых является незапасаемой, применяется тождество $Z_{ij}(t-1) = 0$.

В нашем варианте модели к таким отраслям относятся электроэнергетика ($i=1$), торговля ($i=16$) и транспорт ($i=17$).

Оценка выпуска продукции отраслей в t-ом такте имитации

Выпуск продукции j-ой отрасли во время t-го такта имитации определяется производственной функцией:

$$\tilde{X}_j(t) = \min \left\{ \min_{i \in \omega_j, i < 1, 16, 17} (\tilde{X}_{ij}(t) / a_{ij}); M_j(t) \right\}.$$

Эта функция предполагает технологию, минимально тратящую ресурсы. При оценке выпуска продукции отраслей не принимаются в расчёт отрасли, продукция которых незапасается, так как выпуск и распределение этой продукции происходит особым способом, который будет описан ниже.

В случае, когда исследователь хочет проверить воздействие случайных колебаний в производственном процессе, производственная функция имеет вид:

$$\tilde{X}_j(t) = \min \left\{ \min_{i \in \omega_j, i < 1, 16, 17} (\tilde{X}_{ij}(t) / a_{ij}); M_j(t) \right\}$$

$*(1 + \varepsilon_j(t))$, где $\varepsilon_j(t)$ - случайная переменная, задаваемая экзогенно или моделируемая с помощью выбранного закона распределения.

Определение потребности отраслей в услугах электроэнергетики

Поскольку производство во всех отраслях зависит от продукции электроэнергетики, а электроэнергия и тепло незапасаемы (т.е. электроэнергия и тепло, произведенные в t-ом такте имитации, должны расходоваться только в этом же такте), поэтому электроэнергетика считается «узким» местом, так как может ограничивать производство в других отраслях экономики. В модели возможный объем производства рассчитывается с помощью производственных функций сначала без учета затрат продукции электроэнергетики. После этого оценивается потребность всех отраслей в продукции электроэнергетики в t-ом цикле по формуле:

$$D_{el}(t) = \sum_j a_{1,j} * \tilde{X}_j(t) + \tilde{R}_1(t), \text{ где } \tilde{R}_1(t) -$$

потребность в электроэнергии со стороны конечного потребления в t-ом такте имитации, которая либо задается экзогенно, либо моделируется в модели.

Проверка возможности электроэнергетики удовлетворить спрос на электроэнергию

Если возможности электроэнергетики в t-ом такте $(\tilde{X}_1(t) + \text{Im}_1(t))$ превышают потребности отраслей и конечного потребления $(D_{el}(t))$, т.е. выполняется неравенство $\tilde{X}_1(t) + \text{Im}_1(t) \geq D_{el}(t)$, то принимается, что производство электроэнергии в t-ом такте имитации равно $X_1(t) = D_{el}(t) - \text{Im}_1(t)$; электроэнергия, полученная j-ой отраслью в t-ом такте имитации $X_{1,j}(t) = a_{1,j} * \tilde{X}_j(t)$ для $j < 16, 17$; реально произведенная в t-ом цикле продукция отраслей равна $X_j(t) = \tilde{X}_j(t)$ для $j < 1, 16, 17$; а электроэнергия, полученная для конечного потребления, равна $R_1(t) = \tilde{X}_1(t) - \sum_j a_{1,j} * X_j(t)$.

Если выполняется неравенство $\tilde{X}_1(t) + \text{Im}_1(t) < D_{el}(t)$, то продукция электроэнергетики оказывается в дефиците и необходимо использовать специальные правила, с помощью которых определяется, какой отрасли сколько электроэнергии и тепла давать и сколько продукции электроэнергетики пойдет в конечное потребление. В модели эти правила называются «Правила распределения дефицитной продукции электроэнергетики» (о них подробно будет рассказано чуть ниже). В результате применения одного из вариантов правила мы получаем вектор распределения продукции электроэнергетики по отраслям и для конечного потребления, который выполним в том смысле, что вся эта электроэнергия и тепло будут произведены в t-ом такте имитации. При этом предполагается, что все отрасли получают электроэнергию в объеме не большем, чем учитывается при определении спроса на электроэнергию $D_{el}(t)$, т.е. $X_{1,j}(t) \leq a_{1,j} * \tilde{X}_j(t)$, а продукция электроэнергетики для конечного потребления $R_1(t) \leq \tilde{R}_1(t)$. После чего получаем реализуемое во время t-го такта производство электроэнергии $X_1(t) = \tilde{X}_1(t)$, а j-го товара по

формуле $X_j(t) = X_{1,j}(t) / a_{1,j}$ для всех отраслей, кроме электроэнергетики, торговли и транспорта.

Распределение запасов на уровне отрасли на продукцию, идущую в конечное потребление, в другие отрасли и в запасы

Поскольку во время t -го такта расходуются ресурсы, которые были в отраслях на момент времени $t-1$, то для производства в следующем такте имитации необходимо пополнять запасы. Спрос j -ой отрасли на товар i формируется по правилам («Правила формирования спроса отраслей на ресурсы»). В результате применения этих правил мы получаем выполнимый спрос отрасли j на i -ый ресурс $\tilde{\pi}_{ij}(t)$ во время t -го цикла и спрос на товар i со стороны конечного потребления $\tilde{R}_i(t)$. Спрос выполним в том смысле, что эти ресурсы могут быть предоставлены из запасов $Z_i(t-1)$, которые имелись в наличии к моменту времени $(t-1)$, т. е. к началу t -го цикла. Должны выполняться соотношения $Z_i(t-1) \geq \sum_{\forall j} \hat{\pi}_{ij}(t) + \hat{R}_i(t)$, либо в слу-

чае, когда часть запаса должна переходить в следующий цикл,

$$Z_i(t-1) * (1 - \gamma_i) \geq \sum_{\forall j} \hat{\pi}_{ij}(t) + \hat{R}_i(t),$$

где γ_i – это часть, которая определяет количество неприкосновенного запаса. Эти числа задаются экзогенно.

В разработанной модели распределение происходит по следующему правилу:

$$\begin{aligned} Z_i(t-1) &= \tilde{R}_i(t) + \sum_{j(i \neq j)} \tilde{\pi}_{ij}(t) + w_i(t) * Z_i(t-1) = \\ &= v_i(t) * Z_i(t-1) + \sum_{j(i \neq j)} (u_{ij}(t) * Z_i(t-1)) + w_i(t) * Z_i(t-1) \end{aligned}$$

$$\text{где } v_i(t) + \sum_{j(i \neq j)} u_{ij}(t) + w_i(t) = 1.$$

Определение потребности отраслей в услугах торговли и транспорта

После того как спрос на ресурсы определен, они должны быть доставлены к потребителю транспортом и проданы торговлей. Поскольку услуги торговли и транспорта незапасуемы, то продукция торговли и транспорта, произведенная во время t -го такта имитации, реализуются только в этом такте. Возникает «узкое» место, связанное с тем, что спрос на услуги торговли и транспорта превышает возможности этих отраслей в t -ом цикле расчетов. В модели есть «Блок торговли и транспорта», в котором определяется спрос экономики на услуги этих отраслей и в случае, если он превышает возможности либо торговли, либо транспорта,

по одному из вариантов «Правил распределения дефицитных услуг торговли и транспорта» мы получаем реально выполнимое распределение услуг этих отраслей. Этот блок модели мы опишем подробно ниже.

После того как определен спрос отраслей и конечного потребления на продукцию, необходимую для дальнейшего производства, происходит расчет спроса отраслей и конечного потребления на услуги торговли и транспорта по доставке этого товара потребителю во время t -го такта имитации. Пересчет происходит с помощью коэффициентов затрат торговли ($trade(i,j)$) и транспорта ($transport(i,j)$) на единицу продукции i -го вида, доставленной отраслям и конечному потребителю, по формулам:

$$\begin{aligned} D_{transport}(t) &= \sum_i transport(i, R) * \tilde{R}_i(t) + \\ &+ \sum_{i,j(i \neq j)} transport(i, j) * \tilde{\pi}_{ij}(t) + \sum_{\forall j} a_{16j} * \tilde{X}_j(t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{trade}(t) &= \sum_i trade(i, R) * \tilde{R}_i(t) + \\ &+ \sum_{i,j(i \neq j)} trade(i, j) * \tilde{\pi}_{ij}(t) + \sum_{\forall j} a_{17j} * \tilde{X}_j(t), \end{aligned}$$

где $transport(i, R)$ – коэффициент транспортной наценки на доставку продукции i -ой отрасли для конечного потребления, $transport(i, j)$ – коэффициент транспортной наценки на доставку продукции i -ой отрасли для j -ой отрасли, $trade(i, R)$ – коэффициент торговой наценки на доставку продукции i -ой отрасли для конечного потребления, $trade(i, j)$ – коэффициент торговой наценки на доставку продукции i -ой отрасли для j -ой отрасли. Третье слагаемое в обеих формулах является спросом отраслей на услуги транспорта и торговли, которые необходимы отраслям при производстве продукции в t -ом такте имитации. При этом считается, что этот спрос должен удовлетворяться в первую очередь.

Оценка возможности оказания услуг торговлей и транспортом

Транспорт и торговля – потенциально «узкое» место, поэтому далее проверяется соответствуют ли возможности транспорта и торговли предъявляемому на их услуги спросу. Если

$$\text{ли} \begin{cases} D_{transport}(t) \leq \tilde{X}_{16}(t) + Im_{16}(t) \\ D_{trade}(t) \leq \tilde{X}_{17}(t) + Im_{17}(t) \end{cases},$$

где $\tilde{X}_{16}(t), \tilde{X}_{17}(t)$ – реальные возможности транспорта и торговли соответственно в t -ом

такте, тогда принимается:
$$\begin{cases} \mathcal{K}_{16}(t) = D_{transport}(t), \\ \mathcal{K}_{17}(t) = D_{trade}(t) \end{cases}$$

а $\mathcal{K}_{ij}(t) = \tilde{\pi}_{ij}(t)$, $\mathcal{K}_i(t) = \tilde{R}_i(t)$ – реально перевезенные и проданные ресурсы i -го вида в j -ую отрасль и в конечное потребление соответственно. То есть транспорт и торговля в состоянии оказать услуги в полном соответствии с предъявляемым на них спросом.

В противном случае либо торговля, либо транспорт оказываются в дефиците. Поскольку спрос на услуги торговли и транспорта рассчитывается для одного и того же объема ресурсов, то необходимо определить ту часть от всех ресурсов, которая будет перевезена транспортом и продана торговлей в одном и том же такте имитации. Таким образом, надо определить минимальную часть от возможностей по оказанию услуг этими отраслями. Находим данную величину по формуле

$$k(t) = \min(\tilde{X}_{16}(t)/D_{transport}(t), \tilde{X}_{17}(t)/D_{trade}(t)),$$

$k(t)$ – та часть от всего объема спроса на услуги торговли и транспорта, которая может быть переработана и торговлей и транспортом. Реально оказанные в t -ом такте услуги торговли и транспорта по доставке ресурсов в отрасли и в конечное потребление определяются по формуле

$$\begin{cases} X_{16}(t) = k(t) * D_{transport}(t) \\ X_{17}(t) = k(t) * D_{trade}(t) \end{cases}$$

Далее считаем, что потребности транспорта и торговли в услугах транспорта и торговли удовлетворяются полностью, а для остальных отраслей: $\pi_{ij}(t) = k(t) * \hat{\pi}_{ij}(t)$,

$$R_i(t) = k(t) * \hat{R}_i(t).$$

Вообще в модели можно учесть возможность перераспределения услуг транспорта и торговли между отраслями с помощью системы приоритетов в перевозке и продаже грузов в определенную отрасль, учитывающие важность перевозки i -го ресурса в j -ую отрасль.

На выходе из блока торговли и транспорта мы получаем $\mathcal{K}_{ij}(t)$ – i -ый ресурс, доставленный в j -ую отрасль во время t -го цикла имитации, $\mathcal{K}_i(t)$ – продукт i -ой отрасли, перевезенный и проданный в конечное потребление во время t -го такта имитации (только для $i \in S$). А также произведенные транспортом и торговлей услуги $\mathcal{K}_{16}(t)$, $\mathcal{K}_{17}(t)$ в t -ом такте имитации.

Возврат неиспользованной при производстве продукции отраслей в запасы

В модели может сложиться ситуация, когда объем реально используемых в производстве запасаемых ($i \in S$) ресурсов

$$X_{ij}(t) = a_{ij} * \mathcal{K}_j(t) \text{ меньше, чем поступившее}$$

в производство их количество $\tilde{X}_{ij}(t)$. В этом

случае часть неиспользованных ресурсов (через запасы) может переходить в следующий цикл. Определяются переходящие в следующий такт неиспользованные ресурсы по следующей формуле (только для запасаемых ресурсов $i \in S$):

$$\mathcal{K}_{ij}(t) = c_{ij}(t) * [\tilde{X}_{ij}(t) - a_{ij} * \mathcal{K}_j(t)], \text{ где}$$

$c_{ij}(t) \in [0,1]$ – коэффициент возвратности (экономного использования) ресурса i в j -ой отрасли, задаваемый экзогенно.

Формирование запасов продукции в отраслях для следующего такта имитации

Запасы i -го ресурса в j -ой отрасли к моменту времени t определяются по следующей формуле: $Z_{ij}(t) = \tilde{Z}_{ij}(t) + \mathcal{K}_{ij}(t) + \mathcal{K}_i(t)$.

Вычисляются только для $i \in S$, при $i \notin S$: $Z_{ij}(t) = 0$.

Формирование запасов продукции на отраслевом уровне для следующего такта имитации

Запасы ресурса i на уровне экономики к моменту времени t :

$$Z_i(t) = w_i(t) * Z_i(t-1) + \mathcal{K}_i(t) + \text{Im}_i(t),$$

где $\text{Im}_i(t)$ – импорт i -го вида ресурса в экономику во время t -го такта имитации, который задается экзогенно либо моделируется внутри модели. Аналогично предыдущему пункту вычисляется только для $i \in S$, при $i \notin S$: $Z_i(t) = 0$.

Расчёт итоговых для t -го такта имитации показателей

Суммарный объем производства (выпуск j -ой отрасли) j -го товара с начала года:

$$Y_j(t) = Y_j(t-1) + \mathcal{K}_j(t).$$

Потребление i -го товара j -ой отраслью за t тактов имитации:

$$A_{ij}(t) = A_{ij}(t-1) + \tilde{X}_{ij}(t) - c_{ij} * (\tilde{X}_{ij}(t) - a_{ij} * \mathcal{K}_j(t))$$

Импорт продукции отраслей за t тактов имитации: $\text{Im}_i(t) = \text{Im}_i(t-1) + \text{Im}_i(t)$.

Конечное потребление продукции отраслей за t тактов имитации:

$$SR_i(t) = SR_i(t-1) + R_i(t).$$

Все вышеперечисленные показатели можно получать по месяцам – выпуск за 4 такта; по кварталам – за 12 тактов; за год в целом – полные 48 тактов.

На этом один такт имитации заканчивается.

Имитация годового функционирования экономики предполагает корректировку управляемых параметров в различные моменты имитации (в конце месяца, квартала и др.). Такая

возможность позволяет отразить в модели особенности того или иного месяца или квартала (т. е. отразить сезонность и др.)

Программная реализация описанной модели на персональном компьютере позволяет опробовать множество различных сценариев, т. е. значительное количество вариантов задания управляемых параметров.

Теперь опишем основные решающие правила модели (рис. 5):

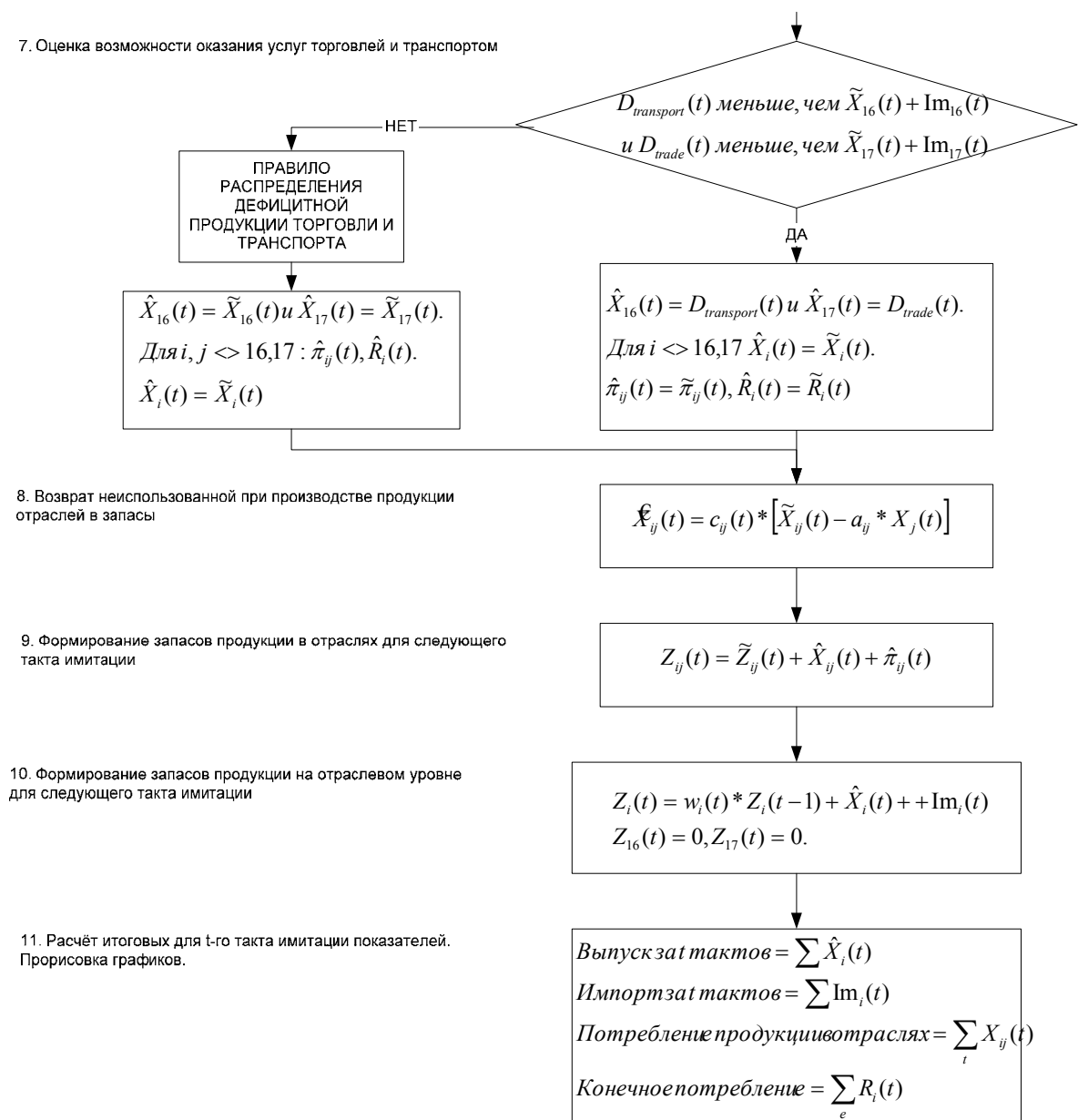


Рис. 5. Прогнозирование распределения ресурсов

Описание решающих правил модели

При прогнозировании распределения ресурсов на длительный период обычно распределяются не наличные ресурсы, а некоторое

прогнозируемое их количество. В процессе текущего управления производством между потреблением и запасами распределяются наличные в каждый данный момент материальные ресурсы. Поэтому постоянно возникает пробле-

ма распределения ресурсов в экономике. В нашей модели имитация экономических механизмов распределения наличных ресурсов происходит с помощью решающих правил – «Правил распределения ресурсов в отраслях», «Правил распределения дефицитной продукции электроэнергетики», «Правил формирования спроса отраслей на ресурсы», «Правил распределения дефицитных услуг торговли и транспорта».

Правила распределения ресурсов в отраслях

В начале каждого цикла производится распределение каждого из используемых и запасаемых ресурсов i в отрасли j на ресурсы, идущие непосредственно в производство, – $\tilde{X}_{ij}(t)$ и ресурсы, поступающие в отраслевые запасы $\tilde{Z}_{ij}(t)$. Это распределение может производиться по одному из следующих правил с соответствующим набором ресурсов для каждой отрасли.

Вариант 1 – распределение производится экзогенно, т. е. пользователь задает распределение с экрана, вводя числа $\hat{X}_{ij}(t)$ и $\hat{Z}_{ij}(t)$, для фиксированного ресурса i в отрасли j . В этом случае правило имеет вид:

$$\tilde{X}_{ij}(t) = \frac{\hat{X}_{ij}(t)}{\hat{X}_{ij}(t) + \hat{Z}_{ij}(t)} * Z_{ij}(t-1),$$

$$\tilde{Z}_{ij}(t) = \frac{\hat{Z}_{ij}(t)}{\hat{X}_{ij}(t) + \hat{Z}_{ij}(t)} * Z_{ij}(t-1),$$

т. е. распределение происходит с задаваемыми в диалоге весами.

Вариант 2 – с помощью фиксированных долей, не зависящих от ситуации:

$$\tilde{X}_{ij}(t) = \alpha_{ij} * Z_{ij}(t-1),$$

$$\tilde{Z}_{ij}(t) = (1 - \alpha_{ij}) * Z_{ij}(t-1),$$

где α_{ij} – задаются экзогенно.

Вариант 3 – эндогенно с помощью правила использования запасов. Правило имеет вид:

$$\frac{\tilde{X}_{ij}(t) - \tilde{X}_{ij}^o(t)}{\tilde{X}_{ij}^o(t)} = \left[(1 - \mu_{ij}^x) * r_{ij}^{M,x} * \left(\frac{Z_{ij}(t-1) - Z_{ij}^o(t-1)}{Z_{ij}^o(t-1)} \right) + \mu_{ij}^x * r_{ij}^{C,x} * \left(\frac{\sum_{\tau} Z_{ij}(\tau) - \sum_{\tau} Z_{ij}^o(\tau)}{\sum_{\tau} Z_{ij}^o(\tau)} \right) \right] * n_{ij}(t),$$

$$\frac{\tilde{Z}_{ij}(t) - \tilde{Z}_{ij}^o(t)}{\tilde{Z}_{ij}^o(t)} = \left[(1 - \mu_{ij}^z) * r_{ij}^{M,z} * \left(\frac{Z_{ij}(t-1) - Z_{ij}^o(t-1)}{Z_{ij}^o(t-1)} \right) + \mu_{ij}^z * r_{ij}^{H,z} * \left(\frac{\sum_{\tau} Z_{ij}(\tau) - \sum_{\tau} Z_{ij}^o(\tau)}{\sum_{\tau} Z_{ij}^o(\tau)} \right) \right] * n_{ij}(t),$$

где $\tilde{X}_{ij}^o(t), \tilde{Z}_{ij}^o(t)$ – прогнозные значения переменных $\tilde{X}_{ij}(t), \tilde{Z}_{ij}(t)$, которые либо прогнозируются в модели, либо принимаются в качестве характеристик «нормальной» или предвидимой ситуации. Они могут задаваться экзогенно или моделироваться по траекториям фактических (для модели) значений переменных при $\tau < t-1$. Коэффициенты $r_{ij}^{M,z}, r_{ij}^{H,z}, r_{ij}^{M,x}, r_{ij}^{H,x}$ определяют влияние отклонений фактической траектории запасов $Z_{ij}(t)$ от «нормальной» так, что выделяется мгновенная (с индексом «М») и инерционная (с индексом «И») составляющие этого влияния. Эти коэффициенты должны определяться для различных ситуаций, т.е. иметь индекс ситуации «S» ($r_{ij}^{M,z}(s), r_{ij}^{H,z}(s), r_{ij}^{M,x}(s), r_{ij}^{H,x}(s)$). Параметры μ_{ij} задают соотношение между мгновенным и инерционными факторами. Суммирование в $\sum_{\tau} Z_{ij}(\tau)$ выполняется при $t - Q_{ij} \leq \tau < t$.

1. Параметры Q_{ij} определяют продолжительность «периода усреднения», на котором выявляется оценка текущей (для t -ой недели) ситуации. Сомножитель $n_{ij}(t)$ задает нормировку, обеспечивающую выполнение тождеств $Z_{ij}(t-1) = \tilde{X}_{ij}(t) + \tilde{Z}_{ij}(t)$, при заданном $Z_{ij}(t-1)$. Проверяется неотрицательность слагаемых в этом тождестве и в случае ее нарушения необходимо применять вариант 1 или 2 правила распределения запасов.

Правила распределения дефицитной продукции электроэнергетики

Дефицит продукции электроэнергетики возникает в тот момент, когда отрасли и конечные потребители предъявляют спрос на электроэнергию $D_{el}(t)$, а электроэнергетика с учётом экспорта в этом такте может произвести $\tilde{X}_1(t) + \text{Im}_1(t) < D_{el}(t)$ (в потребительских ценах). Причиной этого может быть либо недостаток ресурсов, необходимых для производства электроэнергии, либо ограничение мощностей $M_1(t)$ (например, недостаточный уровень воды в водохранилищах).

Пусть продукция электроэнергетики оказалась в дефиците в t -ом такте имитации. Принимается гипотеза, что потребности в электроэнергии самой электроэнергетики удовлетворяются полностью – $\mathcal{E}_1(t) = \tilde{X}_1(t)$, $X_{1,1}(t) = a_{1,1} * \mathcal{E}_1(t)$ – и электроэнергетика получает все, что ей необходимо в t -ом такте. Остальная электроэнергия распределяется по одному из вариантов правил.

Вариант 1 – электроэнергия распределяется всем пропорционально их спросу на нее. Правила в этой ситуации имеют вид :

$$X_{1,j}(t) = \frac{a_{1,j} * \tilde{X}_{1,j}(t)}{D_{el}(t) - \text{Im}_1(t) - X_{1,1}(t)} * [\mathcal{E}_1(t) - X_{1,1}(t)];$$

$$R_1(t) = \frac{\tilde{R}_1(t)}{D_{el}(t) - \text{Im}_1(t) - X_{1,1}(t)} * [\mathcal{E}_1(t) - X_{1,1}(t)];$$

где $\tilde{X}_{1,j}(t)$ – спрос j -ой отрасли на продукцию электроэнергетики во время t -го такта имитации; $\tilde{R}_1(t)$ – спрос на электроэнергию для конечного потребления; $X_1(t)$ – произведенная во время t -го такта электроэнергия.

Вариант 2 – экзогенно, т. е. распределение электроэнергии задает исследователь, вводя вектор $\{ \tilde{X}_{2,1}(t), \tilde{X}_{1,2}(t), \dots, \tilde{X}_{1,n}(t), \tilde{R}_1(t) \}$, n – количество рассматриваемых в модели отраслей. В этом случае формулы для расчета сколько электроэнергии получает каждая отрасль и конечное потребление принимают вид:

$$X_{1,j}(t) = \frac{\tilde{X}_{1,j}(t)}{\tilde{X}_{2,1}(t) + \dots + \tilde{X}_{1,n}(t) + \tilde{R}_1(t)} * [\mathcal{E}_1(t) - \mathcal{E}_{1,1}(t)],$$

$$R_1(t) = \frac{\tilde{R}_1(t)}{\tilde{X}_{2,1}(t) + \dots + \tilde{X}_{1,n}(t) + \tilde{R}_1(t)} * [\mathcal{E}_1(t) - \mathcal{E}_{1,1}(t)],$$

т. е. в диалоге задаются веса.

Вариант 3 – распределение происходит с помощью правил, учитывающих приоритет каждой отрасли:

$$X_{1,j}(t) = [1 + (\psi(t) - 1) * \mu(s) * r_j(s)] * a_{1,j} * \tilde{X}_j(t),$$

$$R_1(t) = [1 + (\psi(t) - 1) * \mu(s) * r_R(s)] * \tilde{R}_1(t),$$

где $\psi(t)$ – отношение возможного производства электроэнергии во время t -го такта к спросу на нее со стороны отраслей и конечного потребления $(\psi(t) = \frac{X_1(t) - X_{1,1}(t)}{D_{el}(t) - X_{1,1}(t)})$; $\tilde{X}_{1,j}(t)$,

$\tilde{R}_1(t)$ – спрос на электроэнергию со стороны j -ой отрасли и конечного потребления соответственно; $r_j(s)$ – коэффициенты приоритета отрасли j , которые могут различаться в зависимости от ситуации « s »; $\mu(s)$ – нормировочный коэффициент, который обеспечивает равенство распределяемых ресурсов наличному их количеству и вычисляется по формуле

$$\mu(s) = \frac{X_1(t) - D_{el}(t)}{(\psi(t) - 1) * (\sum_{j \neq 1} r_j(s) * a_{1,j} * \tilde{X}_j(t) + r_R(s) * \tilde{R}_1(t))}.$$

Для применения этого правила распределения дефицитной продукции электроэнергетики необходимо задать приоритеты для каждой ситуации: $r_j(s)$, $j \neq 1$; $r_R(s)$.

Правила формирования спроса отраслей на ресурсы

Для дальнейшего производства отраслям необходимо постоянно пополнять свои запасы. Формирование спроса отрасли j на товар отрасли i (только для $i \in S$) может происходить экзогенно, когда исследователь сам задает спрос на товар i отрасли j – $\tilde{\pi}_{ij}(t)$.

Спрос моделируется в модели в зависимости от выделенных в производство в t -ом такте ресурсов $\tilde{X}_{ij}(t)$ по формуле

$$\tilde{\pi}_{ij}(t) = k_{ij}(t) * \tilde{X}_{ij}(t),$$

где $k_{ij}(t)$ – коэффициент прироста запасов, который исследователь должен задавать заранее.

Аналогично определяется спрос на товар i для конечного потребления $\tilde{R}_i(t)$.

Далее проверяется, может ли быть удовлетворен спрос на этот товар, т. е.

$$Z_i(t-1) \geq \sum_{j=1}^n \tilde{\pi}_{ij}(t) + \tilde{R}_i(t),$$

либо если часть запаса должна переходить в следующий цикл (неприкосновенный запас), тогда:

$$Z_i(t-1)(1-\gamma_i) \geq \sum_{j=1}^n \tilde{\pi}_{ij}(t) + \tilde{R}_i(t), \quad \text{где}$$

γ_i – коэффициент неприкосновенности запаса. Если это условие не выполняется, значит, товар i в дефиците. Тогда дефицитный ресурс распределяется по одному из вариантов правила, аналогичных правилам распределения дефицитной электроэнергии.

Вариант 1 – i -ый дефицитный ресурс распределяется всем пропорционально их спросу на него. Правила в этой ситуации имеют вид:

$$\hat{\pi}_{ij}(t) = \frac{\tilde{\pi}_{ij}(t)}{\sum_{\forall j} \tilde{\pi}_{ij}(t) + \tilde{R}_i(t)} * Z_i(t-1),$$

$$\hat{R}_i(t) = \frac{\tilde{R}_i(t)}{\sum_{\forall j} \tilde{\pi}_{ij}(t) + \tilde{R}_i(t)} * Z_i(t-1),$$

где $\hat{\pi}_{ij}(t)$ – спрос j -ой отрасли на i -ый ресурс во время такта t , который может быть удовлетворен; $\hat{R}_i(t)$ – спрос на i -ый ресурс для конечного потребления; $Z_i(t-1)$ – продукция, которая может быть распределена во время t -го такта имитации.

Вариант 2 – дефицитный ресурс распределяется экзогенно, т.е. распределение i -го ресурса задает исследователь, вводя числа – $\hat{\pi}_{ij}(t), \hat{R}_i(t)$ (только для $i \in S$) такие, что

$$Z_i(t-1) \geq \sum_{j=1}^n \hat{\pi}_{ij}(t) + \hat{R}_i(t) \quad \text{или}$$

$$Z_i(t-1)(1-\gamma_i) \geq \sum_{j=1}^n \hat{\pi}_{ij}(t) + \hat{R}_i(t) \quad \text{в зави-}$$

симости от ситуации.

Вариант 3 – распределение происходит с помощью правил, учитывающих приоритет каждой отрасли:

$$\hat{\pi}_{ij}(t) = [1 + (\psi_i(t) - 1) * \mu_i^t(s) * r_j(s)] * \tilde{\pi}_{ij}(t),$$

$$\hat{R}_i(t) = [1 + (\psi_i(t) - 1) * \mu_i^t(s) * r_R(s)] * \tilde{R}_i(t),$$

где $\psi_i(t)$ – отношение спроса на i -ый ресурс к возможным поставкам во время t -го такта; $\tilde{\pi}_{ij}(t), \tilde{R}_i(t)$ – спрос на i -ый ресурс со стороны j -ой отрасли и конечного потребления соответственно; $r_j(s)$ – коэффициенты приоритета отрасли j на получение i -го ресурса, которые могут различаться в зависимости от ситуации «s»; $\mu_i^t(s)$ – нормировочный коэффициент, который обеспечивает равенство распределяемых ресурсов наличному их количеству.

В результате получаем спрос отрасли j на ресурс отрасли i , который необходим для производства – $\hat{\pi}_{ij}(t)$ и спрос на i -ый вид продукции со стороны конечного потребления $\hat{R}_i(t)$.

Блок торговли и транспорта

После того как определен спрос отраслей и конечного потребления на продукцию, необходимую для дальнейшего производства, происходит расчет спроса отраслей и конечного потребления на услуги торговли и транспорта по доставке этого товара потребителю во время t -го такта имитации. Пересчет происходит с помощью коэффициентов затрат торговли ($trade(i)$) и транспорта ($transport(i)$) на единицу продукции i -го вида доставленной отраслям и конечному потребителю по формулам:

$$D_{trade}(t) = \sum_{i \neq l} ([\sum_{\forall j} \hat{\pi}_{ij}(t) + \hat{R}_i(t)] * trade(i)),$$

$$D_{transport}(t) = \sum_{i \neq l} ([\sum_{\forall j} \hat{\pi}_{ij}(t) + \hat{R}_i(t)] * transport(i)).$$

Транспорт и торговля – потенциально «узкое» место, поэтому далее проверяется, соответствуют ли возможности транспорта и торговли предъявляемому на их услуги спросу. Если

$$\begin{cases} D_{trade}(t) \leq X_{trade}(t), \\ D_{transport}(t) \leq X_{transport}(t) \end{cases}$$

где $X_{trade}(t), X_{transport}(t)$ – возможности торговли и транспорта соответственно в t -ом такте, тогда принимается:

$$\begin{cases} X_{trade}(t) = D_{trade}(t), \\ X_{transport}(t) = D_{transport}(t),^a \end{cases}$$

$\pi_{ij}(t) = \hat{\pi}_{ij}(t), R_i(t) = \hat{R}_i(t)$ – реально перевезенные и проданные ресурсы i -го вида в j -ую отрасль.

Иначе, либо торговля, либо транспорт оказываются в дефиците. Поскольку спрос на услуги торговли и транспорта рассчитывается для одного и того же объема ресурсов, то необходимо определить ту часть от всех ресурсов, которая будет перевезена транспортом и продана торговлей в одном и том же такте имитации. Определение минимальной части от возможностей по оказанию услуг этими отраслями производится по формуле:

$$k(t) = \min\left(\frac{X_{trade}(t)}{D_{trade}(t)}, \frac{X_{transport}(t)}{D_{transport}(t)}\right),$$

$k(t)$ – та часть от всего объема спроса на услуги торговли и транспорта, которая может быть переработана и торговлей и транспортом. Реально оказанные в t -ом такте услуги торговли и транспорта по доставке ресурсов в отрасли и в конечное потребление определяются по формуле

$$\begin{cases} X_{trade}(t) = k(t) * D_{trade}(t), \\ X_{transport}(t) = k(t) * D_{transport}(t). \end{cases}$$

Далее считаем, что потребности транспорта и торговли в услугах транспорта и торговли удовлетворяются полностью, а для остальных отраслей:

$$\pi_{ij}(t) = k(t) * \hat{\pi}_{ij}(t),$$

$$R_i(t) = k(t) * \hat{R}_i(t).$$

Вообще в модели можно учесть возможность перераспределения услуг транспорта и торговли между отраслями с помощью системы приоритетов в перевозке и продаже грузов в определенную отрасль, учитывающие важность перевозки i -го ресурса в j -ую отрасль.

На выходе из блока торговли и транспорта мы получаем $\pi_{ij}(t)$ – i -ый ресурс доставленный в j -ую отрасль во время t -го цикла имитации, $R_i(t)$ – продукт i -ой отрасли перевезенный и проданный в конечное потребление во время t -го такта модели. А также произведенные транспортом и торговлей услуги $X_{trade}(t), X_{transport}(t)$ в t -ом такте имитации.

Реализация модели межотраслевого баланса в PowerSim Studio 7

Вышеописанные алгоритмы и правила модели межотраслевого баланса реализованы в формализме PowerSim Studio 7. Модель разбита на описные выше блоки и шаги.

Блок динамики трудовых ресурсов

Данный блок формирует потоки рабочей силы между отраслями и группами отраслей, а также выход и вход трудовых ресурсов на рынок рабочей силы. Динамика потоков трудовых ресурсов рассчитывается согласно основному уравнению динамики рабочей силы (Кругман).

Общий вид блока трудовых ресурсов и входящие в него объекты показаны на рис. 6.

В дальнейшем изложении будет описан алгоритм расчета и основные переменные, использующиеся в нем.

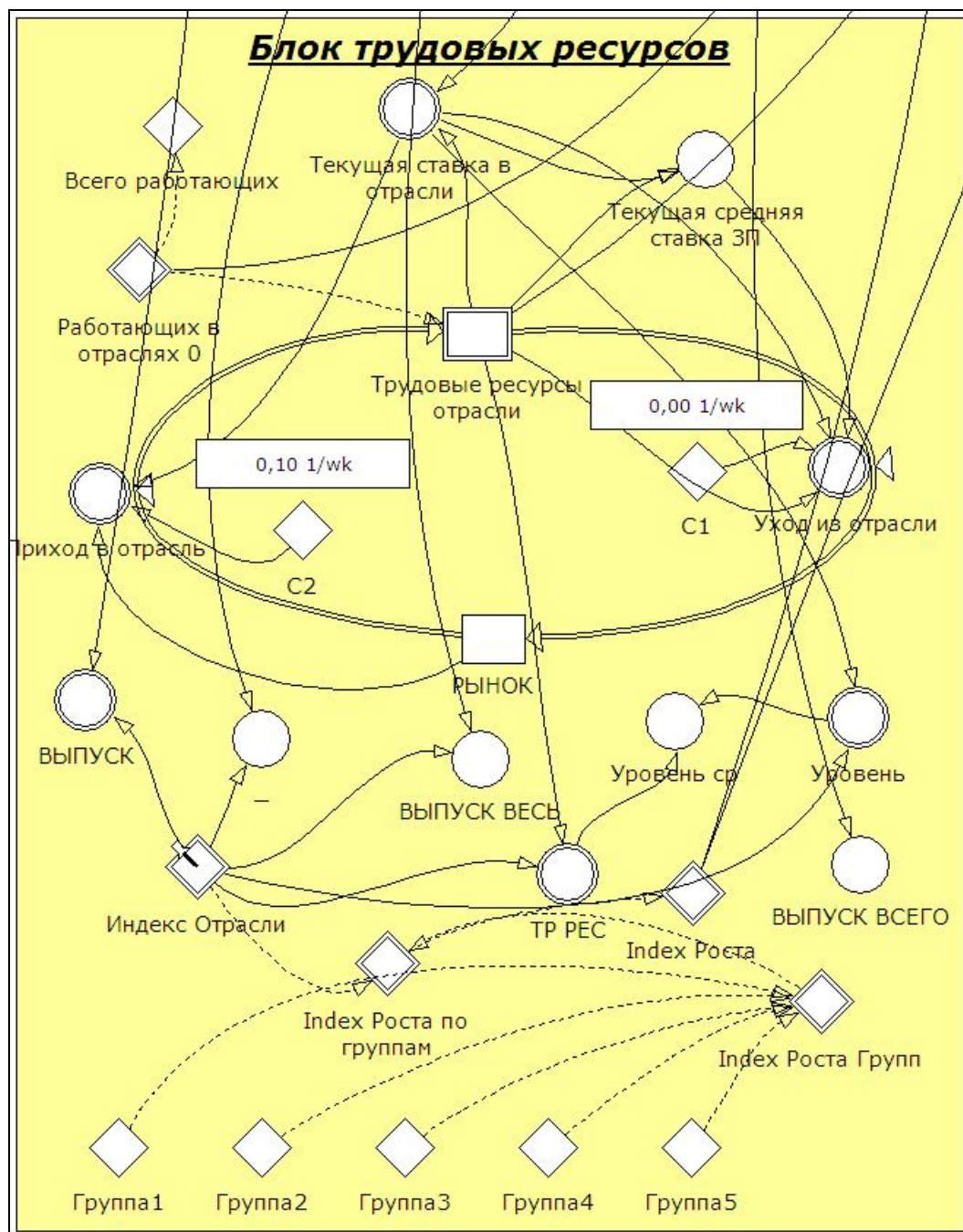


Рис. 6. Блок трудовых ресурсов

Согласно используемому подходу к моделированию все отрасли объединяются в несколько групп. Количество групп, выбранное для данной задачи, равно 5.

Каждой отрасли присваивается свой индекс – целое число от 1 до 5. Присваивание происходит в таблице «Отрасли и группы» на закладке «Total» модели в PowerSim (рис.7).

Отрасли и группы	
Индекс Отрасли[1 Электроэнергетика]	1
Индекс Отрасли[2 Нефтегазовая пром]	1
Индекс Отрасли[3 Угольная промышл]	1
Индекс Отрасли[4 Прочая топливная]	1
Индекс Отрасли[5 Чёрная металлургия]	1
Индекс Отрасли[6 Цветная металлургия]	1
Индекс Отрасли[7 Химическая и нефтехимическая пр]	2
Индекс Отрасли[8 Машиностроение и металлооб]	2
Индекс Отрасли[9 Лесная и ЦБП]	2
Индекс Отрасли[10 Промышленность строительных]	2
Индекс Отрасли[11 Лёгкая промышленность]	3
Индекс Отрасли[12 Пищевая промышленность]	3
Индекс Отрасли[13 Прочие отрасли промышленности]	3
Индекс Отрасли[14 Строительство]	3
Индекс Отрасли[15 Сельское и лесное хозяйство]	3
Индекс Отрасли[16 Транспорт и связь]	4
Индекс Отрасли[17 Торговля]	4
Индекс Отрасли[18 Прочие виды деятельности по производ]	4
Индекс Отрасли[19 ЖКХ]	5
Индекс Отрасли[20 Здравоохранение]	5
Индекс Отрасли[21 Наука и научное обслужи]	5
Индекс Отрасли[22 Финансы_кредит_страхо]	5

Рис. 7. Отрасли и группы

В данную таблицу вручную заносятся индексы групп отраслей, т.е. осуществляется принудительная кластеризация экономического пространства. С использованием объекта «Индекс отрасли» в модели вычисляется выпуск для каждой группы, а также трудовые ресурсы в каждой группе.

В управляемую константу «Индекс роста групп» заносятся числовые значения, которые определяют относительные тенденции роста производства в каждой группе промышленности региона (Закладка «Total», рис. 8).

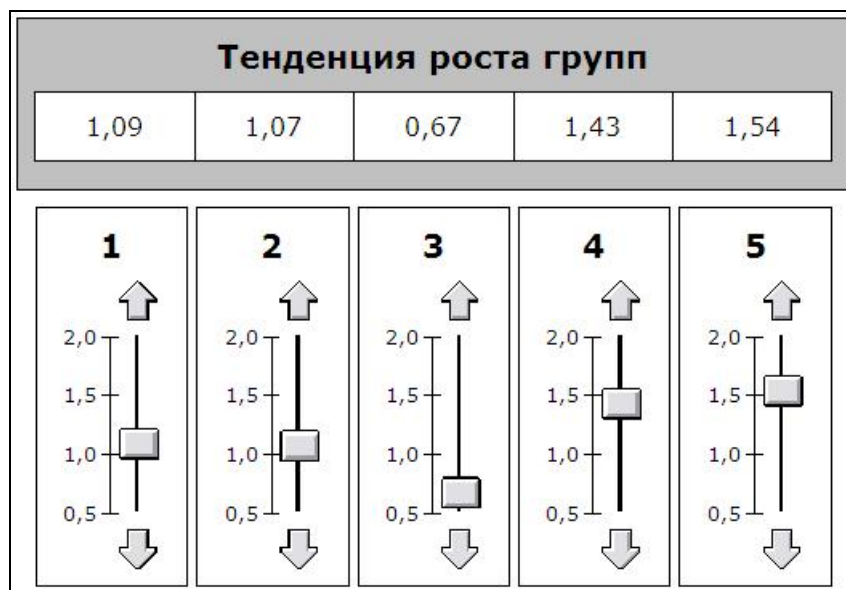


Рис. 8. Задание тенденций развития групп отраслей

Математически изменение значений этих констант означает скалярное умножение в матрице межотраслевого баланса столбца отрасли, принадлежащего данной группе, на вводимое число. Тем самым задается изменение производства каждой отрасли в матрице.

Собственно изменение трудовых ресурсов в отрасли и в соответствующей группе рассчитывается в контуре, образованном уровнями «Трудовые ресурсы отрасли» и «РЫНОК» и потоками «Уход из отрасли» и «Приход в отрасль». Данные уровни и потоки замкнуты в кольцо.

Поток «Уход из отрасли» определяется разностью между средней ставкой заработной платы в регионе и ставкой заработной платы в данной отрасли. Если ставка в отрасли меньше средней по региону, поток выхода из отрасли положителен и определяется константой выхода «С1», задаваемой интерактивно. Абсолютное значение потока ухода из отрасли определяется пропорционально абсолютному значению всех трудовых ресурсов в отрасли. Предполагается, что, если ставка в отрасли больше средней, трудовые ресурсы не покидают отрасль.

Все уходящие из отраслей и групп попадают на рынок труда. В модели он представлен уровнем «Рынок». Косвенно величина этого уровня позволяет судить об уровне безработицы в регионе.

Поток с рынка труда распределяется по отраслям и группам. В отличие от ухода, где предполагается, что поток пропорционален разнице в ставке в отрасли и в средней ставке по региону и равен 0, если ставка выше средней, поток в отрасль отличен от 0 в любом случае. То

есть предполагается, что даже отрасль с самой низкой ставкой (меньшей средней) может привлекать трудовые ресурсы. Потоки распределяются пропорционально ставкам в отраслях. Величина потока с рынка рабочей силы управляется константой «С2».

Таким образом, в данном контуре реализован полный цикл движения трудовых ресурсов.

Ставка заработной платы в каждой отрасли качественно вычисляется как отношение выпуска на каждом такте задачи в денежном исчислении к величине трудовых ресурсов в отрасли.

Управление и оптимизация в модели I

Управление моделью упрощено и позволяет получать результаты на качественном уровне.

Тенденции роста каждой группы промышленности управляются с пульта управления, который показан на рис.13. Дополнительно можно использовать пульт управления динамикой трудовых потоков (рис. 9.). Таким образом, в этой модели возможно управление по 7 параметрам. Количество вариантов развития решения – пространство решений модели – достаточно велико, и поэтому простое интерактивное управление может потребовать много времени и просмотра большого количества вариантов для получения правдоподобного решения.

Для автоматизации получения решения в модель введена постановка оптимизационной задачи. Параметры управления рассматриваются как параметры оптимизации и их значе-

ния выбираются генетическим оптимизатором PowerSim Solver 2.5. для удовлетворения наперед заданным критериям оптимизации. В качестве критериев в оптимизационной задаче

PowerSim возможен выбор любого количества операторных условий для любой переменной задачи.

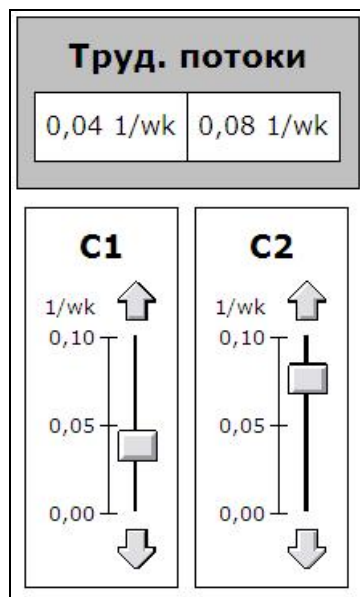


Рис. 9. Управление динамикой трудовых потоков

Операторным условием являются минимизация, максимизация, попадание или непопадание в заданный диапазон, а также требование быть меньше или больше заданного значения для значения ЛЮБОЙ переменной модели.

В нашей модели в качестве критериев выбраны максимизация величины средней ставки заработной платы и минимизация уровня безработицы. На рис.10. приведено окно оптимизатора со списком и значениями параметров и критериев. Для параметров задается диапазон их изменения, для критериев – операторное условие, вес критерия и значение нормализации. Значение нормализации применяется для при-

ведения величины изменения всех критериев в сравнимый диапазон (обычно от 0 до 1). Вес критерия используется для построения взвешенной многокритериальной оптимизационной задачи. Возможны оценка и выбор предпочтения для каждого критерия.

PowerSim Solver позволяет задать для каждого параметра и критерия временной горизонт действия – «Apply Time». По умолчанию для параметров в качестве этого времени принимается начальный момент времени, для критериев – конечный, т.е. изменение параметров начинается в начальный момент, а оптимальное решение мы получаем в конце процесса.

Name	Value	Type	Apply Time	Weight	Divisor
Assumptions					
Decisions					
Группа5	1,54		Start		
Minimum Value	0,50				
Maximum Value	2,00				
Группа4	1,43		Start		
Minimum Value	0,50				
Maximum Value	2,00				
Группа3	0,67		Start		
Minimum Value	0,50				
Maximum Value	2,00				
Группа2	1,07		Start		
Minimum Value	0,50				
Maximum Value	2,00				
Группа1	1,09		Start		
Minimum Value	0,50				
Maximum Value	2,00				
C2	0,08 1/wk		Start		
Minimum Value	0,00 1/wk				
Maximum Value	0,10 1/wk				
C1	0,04 1/wk		Start		
Minimum Value	0,00 1/wk				
Maximum Value	0,10 1/wk				
Objectives					
Уровень ср	656,22 руб/ppl	Max	Stop	☐ 4,00	1,00 руб/ppl
РЫНОК	32 669,28 ppl	Min	Stop	☐ 8,00	1,00 ppl

Рис. 10. Постановка оптимизационной задачи

Результаты моделирования в модели I

Результаты моделирования выводятся в диаграмме «Total» в виде графиков и табличной информации.

В качестве первого приближения был получен нулевой вариант, в котором трудовые потоки на рынок труда и с рынка равны 0, а тенденции развития каждой групп отраслей одинаковы. Этот вариант выбран в качестве референсного. В первом качественном варианте расчета задавалась тенденция роста отраслей первой группы. Результаты расчета и сравнение их с референсным вариантом представлены на рис. 11.

В этом расчете тенденция роста первой группы промышленности увеличена на 50%, движение трудовых потоков не рассматривается.

На графиках показаны:

- 1) выпуск продукции в каждой группе;
- 2) трудовые ресурсы в каждой группе и значения рынка рабочей силы;
- 3) суммарный выпуск по региону;
- 4) уровень заработной платы в каждой группе и средняя ставка заработной платы в регионе.

На графиках видно, что система после небольшого участка установления выходит на стационарное значение. Причем увеличение тенденции приводит только с изменению длительности участка установления для регулируемой группы отраслей.

Величину средней ставки заработной платы по региону можно качественно рассматривать как уровень жизни в регионе.

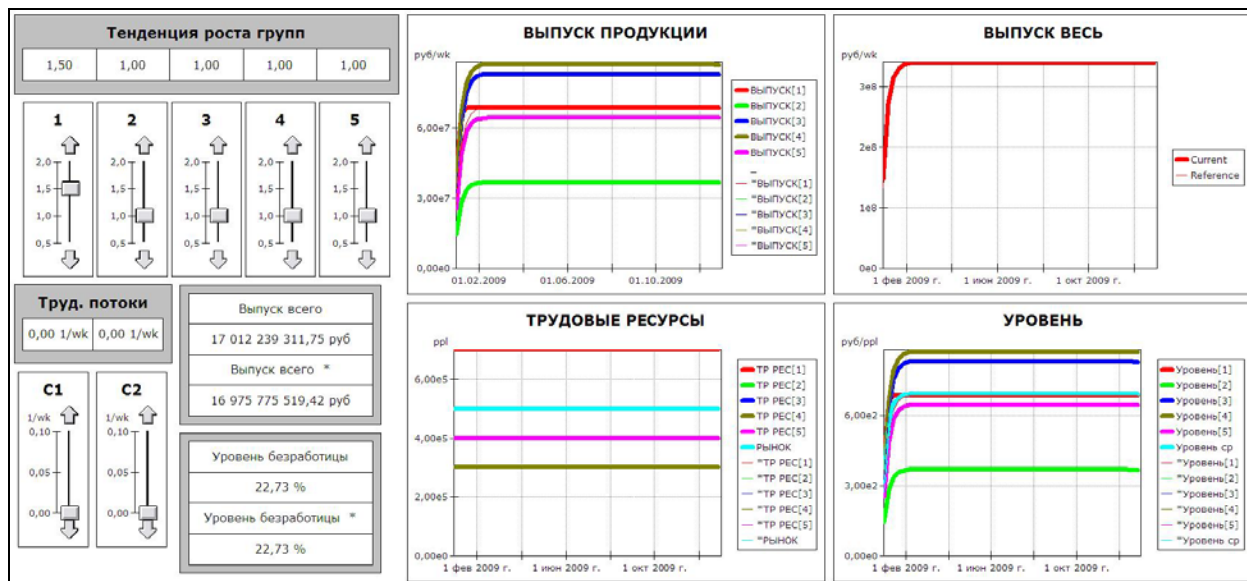


Рис. 11. Первый вариант расчета: движение трудовых потоков равно 0, тенденция развития 1 группы увеличена на 50%

Во втором варианте введено ненулевые значения коэффициентов движения трудовых ресурсов между производством и рынком рабочей силы. Результаты показаны на рис.12. Можно видеть, что развитие системы в этом случае становится значительно более сложным. Перетоки трудовой силы между отраслями и группами приводят к изменению характера и объемов производства. В некоторых отраслях производство растет, что в свою очередь делает эти отрасли привлекательными для миграции ресурсов. В других, напротив, наблюдается или стагнация, или падение.

Общий уровень жизни (средняя ставка заработной платы) в регионе после короткого стабильного периода начинает уменьшаться. Падает и общий уровень выпуска продукции, исчисляемый в денежных единицах. Безработица также падает.

В целом такой сценарий говорит о неэффективном варианте управления экономическим развитием региона или о неадекватной структуре экономического кластера, заданной в таблице «Отрасли и группы».

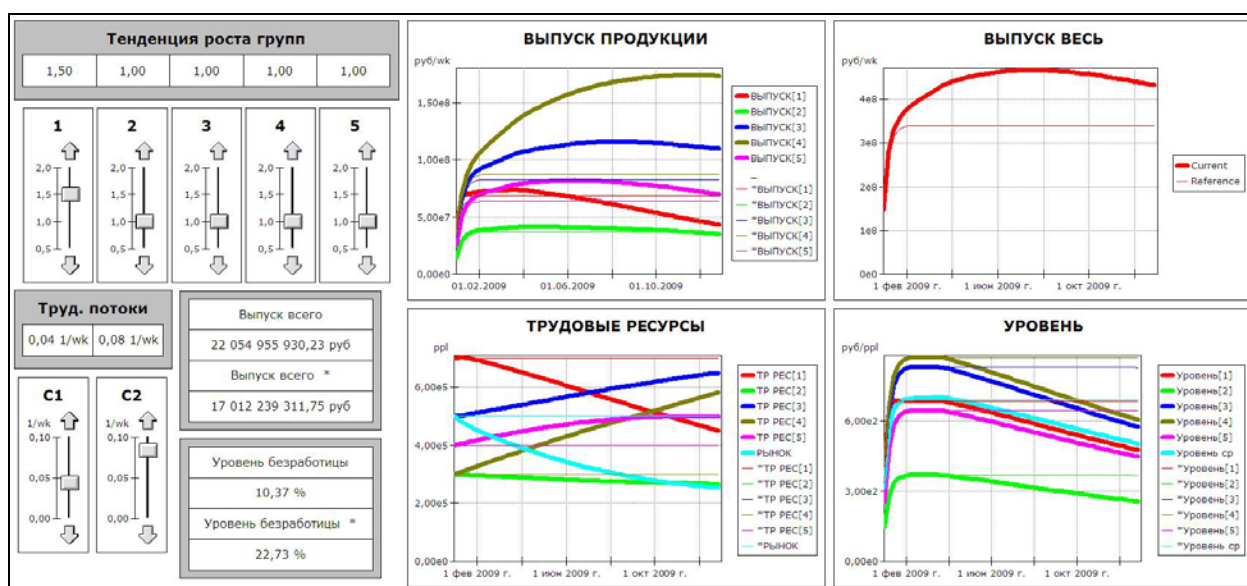


Рис. 12. Второй вариант расчета с введением динамики движения трудовых ресурсов

Как уже говорилось ранее, интерактивный (ручной) способ нахождения приемлемого сценария неэффективен по причине большого количества вариантов, которые необходимо рассматривать. Для получения эффективного решения была поставлена и решена оптимизационная задача. В этой задаче (третий вариант)

величины параметров выбирались оптимизатором. Критерии были заданы таким образом, что низкий уровень безработицы был более предпочтителен, чем средний уровень жизни (вес 8 против 4). В качестве референсного варианта был принят второй вариант. Результаты представлены на рис. 13.

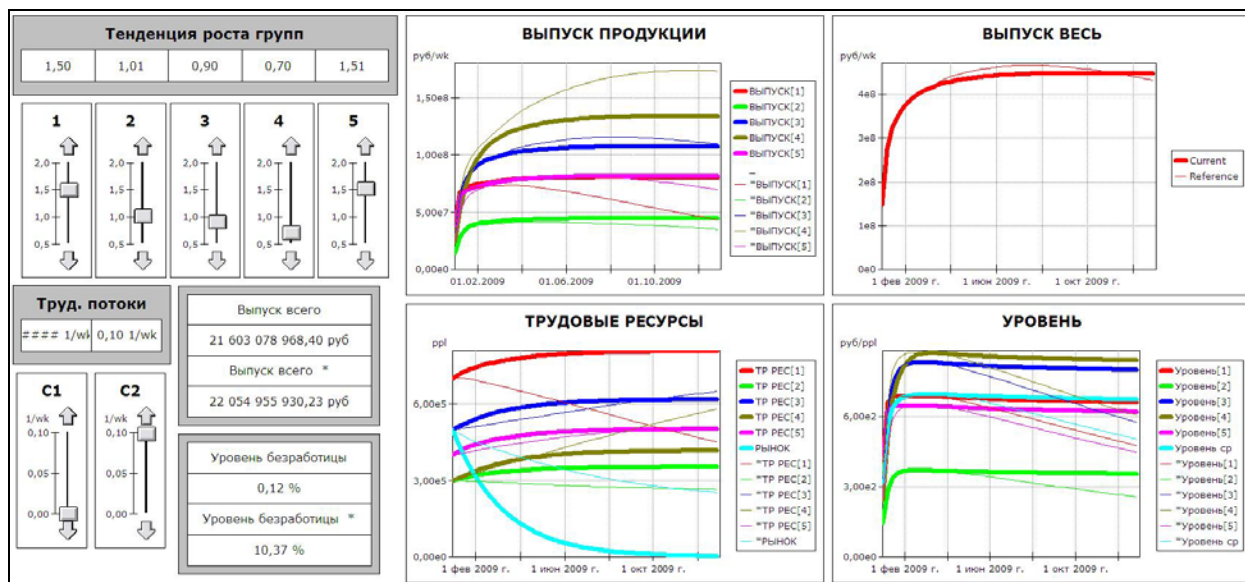


Рис. 13. Третий вариант расчета с предпочтением низкого уровня безработицы

Следующий, четвертый, вычислительный эксперимент был аналогичен предыдущему, но в выборе критериев предпочтение было отдано максимизации уровня жизни с весом 8 против 4 для веса уровня безработицы. В качестве референсного варианта был выбран

третий вариант (рис. 14). В этом варианте было получено такое перераспределение потоков и выбор вектра тенденций роста групп, которое действительно увеличило значение уровня жизни, но привело к существенной безработице, в итоге – падению производства.

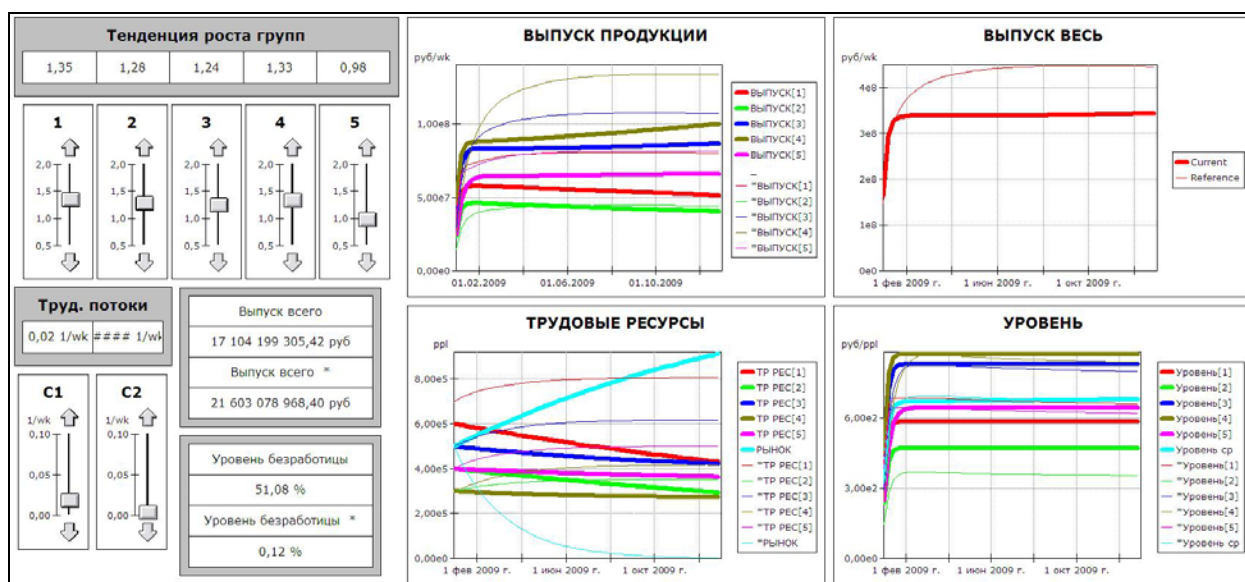


Рис. 14. Четвертый вариант расчета с предпочтением высокого уровня жизни

Высокий уровень жизни остался в малой по численности группе работающего населения.

Все вышеописанные сценарии не могут считаться приемлемыми, так как ведут либо к падению уровня жизни, либо к увеличению без-

работицы. Даже введение весов (предпочтений) в постановку оптимизационной задачи не спасает ситуации. Можно предположить, что проблема кроется в неверной кластеризации производства. Для оценки правильности данного предложения структура кластера (разбиение отраслей по группам) была произвольным образом изменена.

Было получено решение (пятый вариант), в котором удачно сочетались как относи-

тельно высокая заработная плата, так и низкий уровень безработицы (рис.15).

Таким образом, вычислительные эксперименты показали исключительную сложность и многоплановость решаемой задачи, необходимость учета большого количества факторов и, в первую очередь, значимость выбора правильного разбиения отраслей на группы, т.е. эффективной кластеризации экономического пространства.

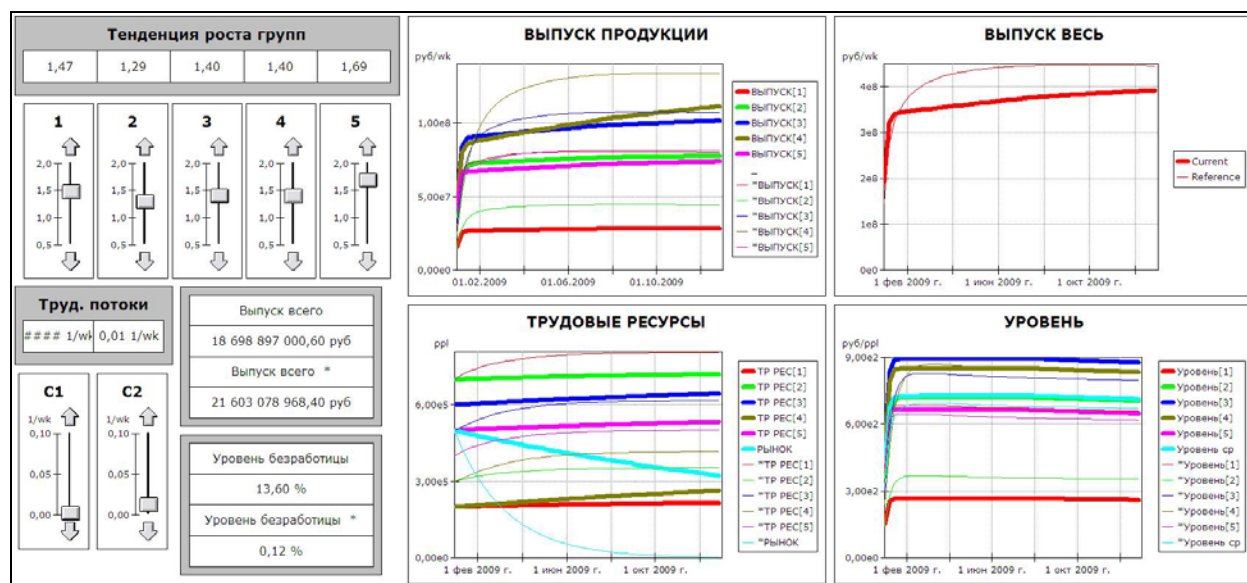


Рис. 15. Пятый эффективный и сбалансированный вариант расчета

Расчетно-оптимизационная модель II

Для проверки гипотезы о существенной роли структуры кластера в экономическом развитии региона была построена модель, в которой в оптимизационную постановку был введен параметр, формирующий кластер.

Если в предыдущие модели структура кластера задавалась вручную из внесистемных

соображений, то в данной модели сам оптимизатор выбирал наиболее эффективную структуру кластера. Результаты этого численного эксперимента приведены на рис. 16: в этом варианте расчетов заработная плата была существенно выше, чем в предыдущих вариантах, причем уровень безработицы к концу процесса моделирования был минимален.

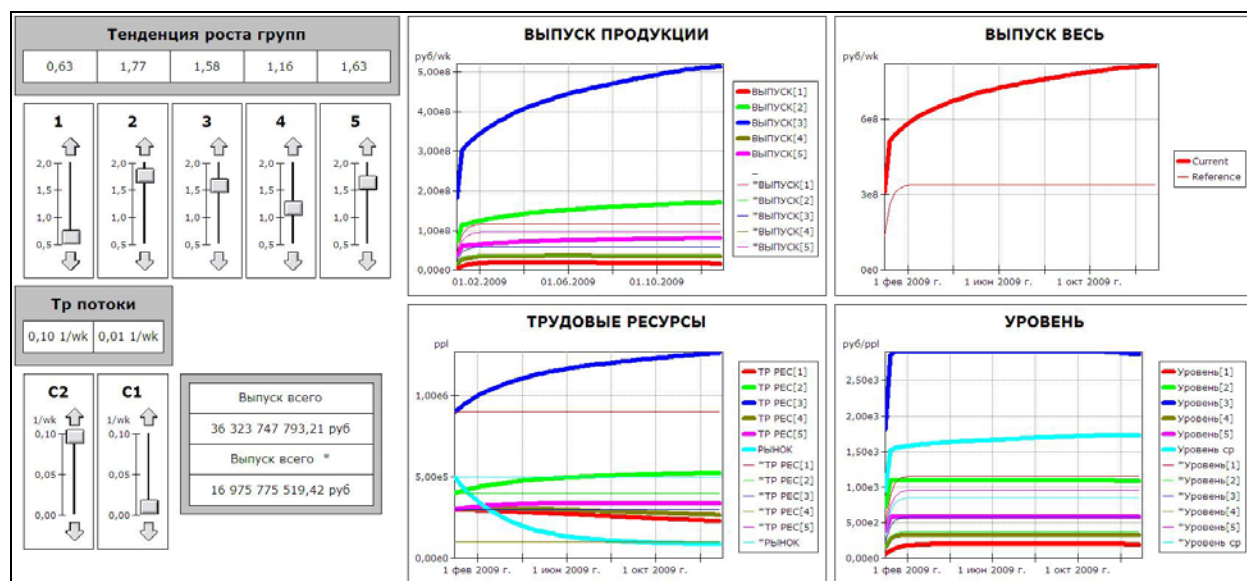


Рис. 16. Пятый – эффективный и сбалансированный – вариант расчета

Следует отметить, что кластеризация, полученная во многих расчетно-оптимизационных вариантах модели II, не является очевидной с точки зрения общепринятых подходов к разбиению отраслей на группы.

Наш подход позволяет выявить сложные, нелинейные и неочевидные зависимости, что поможет повысить эффективность управленческих решений.

Библиографический список

1. Абдикеев Н.М., Данько Т.П., Ильдеменов С.В., Киселев А.Д. Реинжиниринг бизнес-процессов. М.: Эксмо, 2005. 592 с.
2. Кугаенко А.А. Экономическая кибернетика: энциклопедия: учеб. пособие. М.: Вузовская книга, 2010. 716 с.
3. Тернер Дж.Р. Руководство по проектно-ориентированному управлению / пер. с англ. под общ. ред. В.И. Воропаева. М.: Изд. дом Гребенникова, 2007. 315 с.

