

Регион: экономика и социология, 2008, № 2, с. 120–150

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОРЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

А.Г. Гранберг*, В.И. Суслов, С.А. Суспицын

* *Совет по изучению производительных сил,
Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН*

Аннотация

В статье обобщены результаты многолетних исследований многорегиональных систем на основе использования межрегиональных межотраслевых моделей. Описаны основные типы моделей и свойства их решений. Обсуждаются возможности применения этого инструментария для анализа межрегиональных экономических взаимодействий, выявления эффективных и неэффективных коалиций регионов, нахождения ядра и равновесия многорегиональных систем. Представлены результаты исследований по развитию методологии системного моделирования применительно к двухуровневым системам «национальная экономика – регионы».

Ключевые слова: теория равновесия, региональная экономика, взаимодействия, пространственный анализ, прогноз, межрегиональные межотраслевые модели, многорегиональные системы национальной экономики

Главным объектом исследований авторов данной статьи уже на протяжении нескольких десятилетий являются *многорегиональные системы национальной экономики*. В отличие от широко распространенной в мировой экономической мысли (особенно в макроэкономике) парадигмы «точечной» национальной экономики, или «эконо-

мики без размеров», нами развивается иной теоретико-методологический подход. Национальная экономика рассматривается как пространственно неоднородный организм, функционирующий на основе вертикальных (центр – регионы) и горизонтальных (межрегиональных) экономических взаимодействий.

Такой подход был продуктивен для исследований экономики СССР и сохраняет свою актуальность для исследований экономики современной России с ее огромной территорией и исключительным разнообразием природных, социальных, экономических и других условий в различных регионах. Очевидно, что стратегия и политика социально-экономического развития России должны разумно сочетать региональное многообразие, условия сохранения целостности экономики и государства и эффективную для страны интеграцию в глобализирующийся мир.

Проводимые исследования многорегиональных систем, находящиеся в русле современных теорий пространственной и региональной экономики, в значительной мере базируются на использовании инструментария оптимального планирования, межотраслевых моделей (обобщений моделей «затраты – выпуск»), теории общего экономического равновесия, теории игр, математической статистики, получившего развитие в трудах нобелевских лауреатов Л.В. Канторовича, В. Леонтьева, К. Эрроу, Г. Дебре, Дж. Нэша и ряда других выдающихся ученых.

Работы по экономико-математическому моделированию многорегиональной экономики СССР были начаты в Институте экономики и организации промышленного производства (ИЭОПП) СО АН СССР в первой половине 60-х годов в рамках концепции создания системы моделей оптимального территориально-производственного планирования, предложенной А.Г. Аганбегяном. Значительную научную поддержку этим исследованиям оказывали специалисты математико-экономического отделения Института математики СО АН СССР, которым руководил Л.В. Канторович. В октябре 1967 г. в ИЭОПП были выполнены первые экспериментальные прогнозы пространственной структуры экономики СССР на период 1966–1975 гг. на основе оптимизационной межрегиональной межотраслевой модели (ОМММ). Именно эти модельные эксперименты на реальных данных дали толчок становлению в СО АН СССР нового научного направления.

Эволюция экономико-математических исследований многорегиональных систем за прошедшие десятилетия отражает не только развитие теоретико-методологических основ, расширение информационных и технических возможностей экономико-математического моделирования, но и трансформацию самих объектов исследований. Сначала это была централизованная советская экономика, затем – система экономических взаимоотношений союзных республик накануне распада СССР, мировая экономика как наиболее общая многорегиональная система, переходная экономика Российской Федерации в первой половине 90-х годов, российская экономика в начале XXI в. на этапе возобновления экономического роста и воссоздания долгосрочного прогнозирования и стратегического планирования.

По указанным типам многорегиональных экономических систем выполнено значительное число аналитических, прогнозных и программных разработок, нашедших применение в научных докладах АН СССР и РАН, в деятельности Госпланов СССР и РСФСР, Администрации Президента РФ, Министерства экономического развития и торговли РФ, других государственных организаций, а также Секретариата ООН. Данные исследования продолжаются уже более 40 лет без значительных перерывов, хотя и с периодами затишья. Разработки, начатые новосибирской школой, постепенно охватывали ряд региональных научных центров, а в последние годы к ним подключился Совет по изучению производительных сил, организующий использование межрегиональных межотраслевых моделей в работе Министерства экономического развития и торговли РФ.

В 2008 г. за цикл экономико-математических исследований многорегиональных систем авторам настоящей статьи присуждена Премия Российской академии наук им. Л.В. Канторовича.

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЕ МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ МОДЕЛИ

Попытки построения многорегиональных структурных моделей национальной экономики стали предприниматься в 50-х годах в рамках методологии «затраты – выпуск» (*input-output*), получившей

к тому времени широкое научное признание и нашедшей практическое применение благодаря работам В. Леонтьева и его последователей во многих странах мира.

Первые межрегиональные модели представляли собой обобщение точечной статической модели «затраты – выпуск» (в отечественной терминологии – межотраслевого баланса). Основные идеи этой модели: пропорциональность затрат и выпуска продукции, увязка материальных балансов отраслей в единой системе уравнений и т.д. – были распространены на многорегиональные системы. Наибольшую известность получили балансовые модели В. Леонтьева, У. Айзарда, Л. Мозеса (см., например, [1, 2]; модель, аналогичная модели Мозеса, изложена в работе [3]). Все они сводились к системе линейных алгебраических уравнений, имеющих единственное решение. Это достигалось благодаря фиксации важнейших параметров территориальных пропорций, что значительно снижало теоретическое и прикладное значение таких моделей.

Следующим этапом в развитии моделирования многорегиональных экономических систем стала разработка простых оптимизационных межрегиональных межотраслевых моделей. Первые модели, предложенные Б. Стивенсом [4], Л. Мозесом [5], У. Айзардом [6], представляли собой сочетания моделей региональных межотраслевых балансов и условий транспортных задач в рамках общей схемы линейного программирования. Далее, в 60-х годах, за рубежом периодически публиковались статьи, содержащие различные постановки моделей такого же типа. Но качественного скачка в уровне исследований и особенно в практических приложениях их результатов не произошло, ни в одной стране межрегиональные модели не стали рабочим инструментом прогнозирования и экономической политики.

В СССР первые описания оптимизационных межрегиональных межотраслевых моделей были предложены В.В. Коссовым [7, 8], А.Г. Аганбегяном [9], В.А. Машем [10], однако эмпирические исследования этими учеными не проводились.

Первые варианты конструировавшейся в ИЭОПП оптимизационной межрегиональной (многорегиональной) межотраслевой модели (ОМММ) были опубликованы в 1965 г. [11]. Они ориентировались на

возможности информационного и математического обеспечения и различались способами отражения межрегионального обмена, внешней торговли, транспорта, инвестиционного процесса, конечного потребления. Первые экспериментальные расчеты по ОМММ на десятилетнюю перспективу (в разрезе 16 отраслей материального производства и 10 экономических зон СССР) были проведены в 1967 г. [12].

Здесь не имеет смысла давать подробные описания ОМММ. Они приведены, в частности, в нашей монографии, вышедшей в 2007 г. [13]. Отметим только, что наиболее распространен полудинамический однопериодный вариант модели. В нем описывается состояние экономики в разрезе отраслей и регионов на конец некоторого планового периода. Переменные производства разбиваются на две части: «старые», сохранившиеся к концу периода мощности производства и «новые» мощности, созданные в течение этого периода. Переменные инвестиций (по видам капиталобразующих продуктов) существуют в двух видах: в целом за период (в балансах капитальных вложений) и в последнем году периода (в балансах продукции последнего года). Связь между ними обычно задается с помощью экспоненциального закона роста с эндогенным темпом прироста. Возникающая сепарабельность легко линеаризуется. В настоящее время в исследованиях взаимодействий макрорегионов России начинает применяться двухпериодная модель, а в точечном варианте (без территориального разреза) – трехпериодная.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Методологические подходы к анализу межрегиональных взаимодействий и методический аппарат такого анализа складываются в рамках теории и моделей конкурентного равновесия и кооперативных игр.

Идеи современной теории конкурентного (экономического) равновесия восходят к работам Л. Вальраса, В. Парето, Ф. Эджворта, Дж.Р. Хикса. В начале 50-х годов в работах К. Эрроу и Ж. Дебре, Л. Мак-Кензи, Д. Гейла и др. были впервые даны общие и строгие формулировки моделей и доказано существование равновесия при

достаточно общих условиях. Решающий вклад в развитие теории кооперативных игр внесли работы Ф. Эджворта, Дж. фон Неймана и О. Моргенштерна, Дж. Нэша, позже – В. Гильденбрандта и др.

Российскими классиками в этой области экономико-математических исследований являются В.Л. Макаров [14] и В.М. Полтерович [15], существенный вклад внесли А.М. Рубинов [14], Н.Н. Воробьев [16], В.А. Васильев [17] и др. Особую роль в формировании подходов экономического взаимодействия в межрегиональном анализе сыграли работы А.Г. Рубинштейна [18].

Основным инструментом в теории межрегиональных экономических взаимодействий являются межрегиональные модели. Решение ОМММ при конкретном векторе территориальной структуры конечного потребления (населения и государства) определяет состояние, оптимальное по Парето, т.е. оно может быть улучшено для каких-то регионов только за счет ухудшения положения некоторых других регионов. Но такое решение вовсе не обязательно взаимовыгодно для всех регионов. Состояние не является взаимовыгодным, если существует хотя бы одна коалиция (неполная совокупность) регионов, которая, выделившись из системы, получает больший объем конечного потребления. Такая коалиция называется блокирующей. Факт взаимовыгодности или невзаимовыгодности обмена в конкретном состоянии устанавливается после расчетов по всем коалициям. Обмен не взаимовыгоден, если будет найдена хотя бы одна коалиция, в которой регионы имеют большие объемы конечного потребления, чем в полной системе.

Если состояние не взаимовыгодно, возникают центробежные тенденции, что может привести к развалу системы. Но такой исход не фатален: можно изменить территориальную структуру конечного потребления (сделать ее более «справедливой») и перевести систему в область взаимовыгодного обмена. Такая корректировка всегда возможна.

Важнейшим свойством многорегиональных систем является существование непустой области взаимовыгодного обмена, которая называется ядром системы (это основной результат теории кооперативных игр). Все состояния этой области не блокируются ни одной коалицией. Реальное проявление этого факта – стремление к экономической интеграции, к расширению единого экономического пространст-

ва. Из факта существования ядра следует, что чем большее количество регионов объединяется в систему (чем шире общий рынок), тем выше при прочих равных условиях региональные объемы конечного потребления.

В общем случае ядро – это та часть Парето-границы, которая не блокируется ни одной коалицией регионов в отдельности. Имея в виду, что коалиция регионов также является регионом страны, ядро территориальной системы можно определять проще – как часть Парето-границы, не блокируемую никаким регионом в отдельности.

Внутренние точки ядра выгодны всем регионам, так как в них положительны эффекты взаимодействия в целевых показателях каждого региона. Тем не менее эффект взаимодействия может быть распределен между регионами различным образом. Окончательный дележ является компромиссным решением. Существуют различные принципы определения компромиссных решений; в дальнейшем особое внимание уделяется принципу эквивалентности.

Если межрегиональный обмен эквивалентен, то суммарное сальдо вывоза-ввоза, измеренное в ценах обмена, равно нулю по каждому региону, т.е. каждый регион вывозит продукции в ценах обмена столько же, сколько ввозит. Обратное утверждение неверно: из существования цен, обеспечивающих нулевые суммарные сальдо по регионам (таких систем цен может быть много), не следует, что межрегиональный обмен эквивалентен. Проблема определения степени эквивалентности обмена заключается прежде всего в нахождении правильных цен обмена. В теории экономического равновесия такие цены и состояния эквивалентного межрегионального обмена называются равновесными; эти состояния обязательно принадлежат к ядру системы.

Важным вновь введенным понятием является понятие эффектов межрегиональных взаимодействий. Эти эффекты показывают, как меняются (обычно возрастают) целевые показатели регионов системы в результате добавления в систему (включения в систему взаимодействий) нового региона. Оценки таких эффектов получают в результате расчетов по всем возможным коалициям регионов.

Две концепции рыночной экономики. Теории экономического равновесия и кооперативных игр формируют две различные концепции

рыночных отношений. В соответствии с теорией экономического равновесия определяется рынок товарно-денежных отношений. Каждый участник рынка полностью самостоятелен в своих решениях. Он определяет свой спрос и предложение, максимизируя свою функцию полезности и ориентируясь только на сложившиеся цены и на свое ограничение торгового баланса. Такие цены, при которых спрос и предложение оказываются сбалансированными, называются *равновесными*, а соответствующее состояние системы – тоже *равновесным*.

В соответствии с теорией кооперативных игр определяется так называемый контрактный рынок. Все участники рынка также самостоятельны. Каждый из них решает, с кем из других участников рынка и каким образом взаимодействовать, в частности обмениваться продукцией и ресурсами. То есть определяет, в какие коалиции и на каких условиях ему входить. Свой выбор каждый участник останавливает на той коалиции, в которой значение его функции полезности максимально. При достаточно общих условиях доказывалось существование множества таких вариантов обмена (контрактов), что наиболее выгодной коалицией для всех участников рынка является полная система. Такое множество называется *ядром системы*.

Естественным объектом приложения для этих сильно математизированных и достаточно абстрактных теорий является система регионов. Каждый регион рассматривается как субъект рыночных отношений, регионы взаимодействуют или вступают в коалиции, т.е. обмениваются продукцией между собой. Если регион выходит из коалиции (всей системы), то обмен продукцией с остальными регионами коалиции (системы) прекращается. В рамках указанных теорий строго определяются эквивалентный и взаимовыгодный межрегиональный обмен, эффекты межрегиональных, внутренних и внешних взаимодействий, строятся алгоритмы поиска состояний эквивалентного обмена, областей взаимовыгодного обмена, формируются методики оценки степени неэквивалентности и невзаимовыгодности обмена в фактических состояниях системы регионов.

Модели многоцелевой оптимизации и экономического равновесия. Относительно ОМММ предполагается следующее. Общерегиональными переменными (входящими в ограничения более чем одного

региона) выступают общий фонд конечного потребления (потребление населения и государства) \hat{z} – максимизируемая переменная и межрегиональные перевозки продукции x_i^{rs} , $i = 1, \dots, n$, $r = 1, \dots, m$, $s \in \Omega_r$ (множество регионов, граничащих с r -м). Остальные переменные являются внутренними региональными, среди них есть переменные региональных фондов конечного потребления z^r . Матрица модели в части региональных переменных имеет блочно-диагональную структуру. Учтены транспортные связи между смежными регионами, и способ каждой переменной межрегиональной поставки x_i^{rs} является четырехкомпонентным, т.е. кроме плюса (в балансе ввозящего региона) и минуса (в балансе вывозящего региона) единицы включает два коэффициента транспортных затрат (с минусом в балансах транспортной работы) a_{it}^{rs} – для вывозящего ($t = r$) и ввозящего ($t = s$) регионов. Ограничения на территориальную структуру конечного потребления записываются следующим образом:

$$z - \lambda \hat{z} \geq 0, \quad (1)$$

где z – вектор-столбец z^r , $r = 1, \dots, m$; λ – вектор-столбец λ^r , $r = 1, \dots, m$ территориальной структуры конечного потребления.

Исходная ОМММ порождает модели еще двух типов: многоцелевой оптимизации и экономического равновесия (взаимодействия), которые непосредственно и используются в анализе.

Модель многоцелевой оптимизации образуется из ОМММ исключением ограничений (1) на территориальную структуру потребления, переменной \hat{z} общего по стране фонда потребления и введением требования максимизации вектор-функции z . Такая модель применяется для анализа Парето-границы (можно считать, что Парето-граница является решением задачи многоцелевой оптимизации) и ядра системы. Исходная модель выступает по отношению к ней результатом простейшей скаляризации вектор-функции цели.

Дальнейшим «расчленением» модели многоцелевой оптимизации получается модель экономического равновесия (взаимодействия) [19, с. 461–464; 20, с. 242–248]. Исключаются общерегиональные переменные перевозок, каждая из которых замещается парой региональ-

ных: x_{ir}^{rs} – в ограничениях вывозящего региона и x_{is}^{rs} – в ограничениях ввозящего. Исходная модель распадается на совокупность несвязанных региональных моделей с эндогенными переменными вывоза и ввоза продукции, которые в решении имеют смысл «предложений» регионов по межрегиональным связям. В каждую региональную модель вводится ограничение торгового баланса (имитирующее бюджетное ограничение):

$$\sum_{s \in \Omega} \sum_{i \in T} p_i^{(rs)} (x_{ir}^{rs} - x_{is}^{sr}) \geq \delta^r, \quad (2)$$

где $p_i^{(rs)}$ – цена обмена между r -м и s -м регионами для i -й продукции ($p_i^{(rs)} = p_i^{(sr)}$); δ^r – сальдо торгового баланса, $\sum_r \delta^r = 0$.

Далее вектор $\delta^r, r = 1, \dots, m$ обозначается δ . Для конкретного вектора δ решением модели являются такие цены обмена и соответствующие им планы регионального развития, что в каждом регионе достигается максимум фонда конечного потребления и обеспечивается непротиворечивость региональных предложений по межрегиональным связям: $x_{ir}^{rs} \geq x_{is}^{rs}, i = 1, \dots, n, r = 1, \dots, m, s \in \Omega_r$. Другими словами, в решении модели согласованными оказываются изолированно разработанные планы регионального развития и экономическая система попадает в равновесное состояние. Цены обмена, приводящие к такой согласованности, являются равновесными.

Решение модели экономического равновесия при выполнении некоторых условий (в частности, необходимо, чтобы ограничения региональных торговых балансов были существенны) оптимально по Парето, причем варьируя δ , можно получать различные точки Парето-границы.

В силу линейности ОМММ Парето-граница является поверхностью многогранника, образованного гиперплоскостями размерности $m-1$. Пусть u – вектор-строка оценок ограничений (1) (из двойственного уравнения, соответствующего переменной z^r , следует, что u^r показывает «цену» единицы фонда конечного потребления в этом регионе, измеренную в оптимальных оценках потребляемой продукции)

и при территориальной структуре потребления λ_0 этот вектор принимает значение u_0 (пусть двойственный план единствен), а общий по стране фонд конечного потребления – \hat{z}_0 . Тогда уравнение гиперплоскости, образующей грань множества допустимых значений, которую пересекает луч λ_0 (поскольку u_0 единствен, эта грань имеет максимально возможную размерность $m-1$), имеет вид

$$u_0 z = \hat{z}_0. \quad (3)$$

Отсюда понятно, в частности, почему если оценки u_0^r строго положительны и все ограничения (1) на территориальную структуру конечного потребления существенны, решение ОМММ оптимально по Парето.

Тождество итогов регионального развития. Пусть известно решение ОМММ. Из нее выделяются все ограничения r -го региона, кроме ограничений (1), в них подставляются оптимальные значения переменных, обе части каждого из этих ограничений умножаются на оптимальные значения соответствующих двойственных переменных, затем все они складываются. В силу выполнения условий дополняющей нежесткости в результате получается тождество, которое можно записать следующим образом:

$$\tilde{z}^r + \delta^r = \hat{q}^r. \quad (4)$$

Здесь $\tilde{z}^r = u^r z^r$ – конечное потребление региона, измеренное в оптимальных оценках;

\hat{q}^r – сумма правых частей ограничений региона (включая границы на отдельные переменные), умноженных на свои оценки: суммарная оценка ресурсного потенциала, минус суммарная оценка фиксированной части конечного потребления, плюс еще одна компонента, которую можно назвать сальдо взаимоотношений отдельных производителей с федеральным бюджетом. Эта компонента возникает вследствие введения в модель «настраивающих» ограничений на отдельные переменные объемов производства и нивелирует в (4) искажающее влияние этих ограничений на двойственные переменные;

$$\delta^r = \sum_{s \in \Omega_k} \sum_i (p_{ir}^{rs} x_i^{rs} - p_{ir}^{sr} x_i^{sr}) - \text{суммарное сальдо вывоза-ввоза}$$

региона, измеренное в оценках продукции:

$$p_{ir}^{rs} = p_i^r + p_\tau^r a_{ir}^{rs}, \quad p_{ir}^{sr} = p_i^r - p_\tau^r a_{ir}^{sr}, \quad (5)$$

где p_i^r – оценка i -й продукции в r -м регионе; τ – индекс транспортной продукции ($\tau \in \{1, 2, \dots, n\}$). Доказывается, что цены четырех различных уровней – p_{ir}^{rs} , p_{is}^{rs} , p_{ir}^{sr} и p_{is}^{sr} , используемые для измерения i -й продукции, перевозимой между r -м и s -м регионами, можно заменить одной $p_i^{(rs)}$ ($= p_i^{(sr)}$, см. (2)), рассчитанной специальным образом.

Показатели \hat{q}^r естественно называть вкладами регионов в суммарное конечное потребление страны, они выражают конечные системные результаты функционирования регионов. Очевидно, что $\sum_r \hat{q}^r = \sum_r \tilde{z}^r = z^r$, $\sum_r \delta^r = 0$. Из (4) видно, что при измерении итоговых по-

казателей регионального развития в специальных оценках они оказываются связанными естественным образом: сальдо вывоза-ввоза продукции равно разности между вкладом региона в фонд конечного потребления страны («производством» данного фонда) и региональным объемом конечного потребления.

Коалиционный анализ. Так названа методическая схема измерения эффектов межрегионального взаимодействия в системе из m регионов, представленной моделью типа ОМММ, т.е. при конкретном варианте территориальной структуры конечного потребления λ . Как уже отмечалось, коалицией называется неполная совокупность регионов. Количество регионов, входящих в коалицию, называется ее рангом. Максимально возможное количество коалиций (включая внешний мир) равно $2^{m+1} - 1$.

Для каждой коалиции по входящим в нее регионам рассчитываются значения интересующих показателей, прежде всего целевых показателей, т.е. реализуется соответствующая подмодель ОМММ при

фиксации территориальной структуры конечного потребления на уровне, определенном из исходного λ системы в целом.

При достаточно большом количестве регионов системы количество их коалиций становится слишком большим (например, при анализе системы из 15 республик бывшего СССР – $2^{15} - 1 = 32767$). Включать в анализ все возможные коалиции в таком случае нецелесообразно. Тогда осуществляется переход к использованию ограниченных случайных выборок из множества всех возможных коалиций. Такие выборки должны удовлетворять определенным условиям, в частности для каждой пары регионов r и s в выборке должны присутствовать коалиция, включающая оба этих региона, и коалиция, включающая только регион r . Причем эти пары коалиций должны быть достаточно равномерно распределены как между парами регионов, так и между коалициями разного ранга (включающими разное количество регионов). Алгоритмы построения выборок, удовлетворяющие этому требованию, были разработаны.

Далее используются специальные алгоритмы обработки этой совокупности решений и вычисляются показатели вклада s -го конкретного региона в целевой показатель r -го региона, которые обозначаются z^{sr} и называются межрегиональными эффектами. Они образуют шахматную таблицу межрегионального взаимодействия; $m+1$ -я строка этой таблицы показывает эффекты внешней торговли.

Сумма диагональных элементов таблицы межрегионального взаимодействия показывает степень достижения общесистемной цели при

отсутствии взаимодействия, поэтому величина $\hat{z} - \sum_{r=1}^m z^{rr}$ выражает

совокупный валовой эффект взаимодействия. Элементы итоговой строки этой таблицы являются региональными показателями цели в исходном состоянии – z^r , $r = 1, \dots, m$, величины $\sum_{s \neq r} z^{sr} \equiv z^r - z^{rr}$ – ре-

гиональными показателями валового эффекта взаимодействия (общего внутреннего эффекта взаимодействия), а эти величины без внешне-торговых эффектов – показателями чистого (внутреннего) эффекта взаимодействия. Итоговый столбец таблицы образован показателями

общего вклада регионов ($m+1$ -й показатель отражает вклад внешней торговли) в целевой показатель системы; показатели чистого вклада меньше их на величину диагонального элемента: $\sum_{s \neq r} z^{rs}$. Разность между элементами итогового столбца и итоговой строки $\sum_s (z^{rs} - z^{sr})$

показывает региональные сальдо взаимодействия.

Поиск состояния эквивалентного межрегионального обмена.

Из (4) следует, что если при территориальной структуре потребления λ_0 имеет место эквивалентный обмен, то потребление регионов в точности равно \hat{q}^r / u_0^r ; эти величины обозначаются \hat{q}_u^r , их вектор $-q_u$, их сумма $-\hat{q}_u$.

Пусть заданный вектор территориальной структуры λ_0 изменится, причем новый вектор λ отличается от старого в пределах устойчивости оптимального базиса ОМММ. Так как правая часть двойственной к ОМММ задачи есть орт с единицей в ограничении по переменной \hat{z} , все оценки меняются пропорционально друг другу с коэффициентом $\rho = 1 / u_0 \lambda$. Новый суммарный фонд конечного потребления равен $\rho \hat{z}_0$ (именно поэтому соотношение (3) является уравнением грани допустимого множества, которую пересекает луч λ_0), потребление r -го региона $-\lambda^r \rho \hat{z}_0$, его вклад $-\rho \hat{q}^r$, а сальдо (из (4)) $-\rho(\hat{q}^r - \lambda^r) \rho u_0^r \hat{z}_0$.

Теперь, предполагая, что состояние эквивалентного обмена находится на той же грани (в пределах устойчивости исходного базиса), легко найти λ , приводящее в это состояние, т.е. дающее решение системы уравнений $\delta = 0: \lambda = q_u / \hat{q}_u$. Содержательный смысл полученного решения очевиден, так как оно удовлетворяет и тождествам (4) при $\delta = 0$. Если найденное λ отличается от исходного в пределах устойчивости оптимального базиса (луч λ пересекает ту же грань Парето-границы), то процесс заканчивается. В противном случае найденный λ есть очередное приближение к искомому, и процесс продолжается.

Состояние эквивалентного обмена принадлежит к ядру, поскольку планы изолированного функционирования всех регионов допустимы в модели экономического взаимодействия при $\delta = 0$. Следовательно, это состояние является взаимовыгодным; кроме того, оно облада-

ет следующим свойством: потребление населения регионов в нем в точности соответствует конечным результатам его деятельности. Важный вопрос касается количества состояний эквивалентного обмена. Известно (см., например, [21]), что их может быть более одного, но их общее количество нечетно. Таким образом, может возникнуть проблема выбора, неразрешимая в рамках только принципов эквивалентности и взаимовыгодности. Следует заметить, что в прикладных расчетах целенаправленные попытки найти более чем одно равновесное состояние (с нулевыми сальдо торгового баланса) успеха не имели.

Параметрический анализ ядра системы. В прикладном анализе обычно используется упрощенная методическая схема, основанная на определении протяженности ядра и степени кривизны Парето-границ по нескольким заранее выбранным направлениям изменения территориальной структуры целевого показателя. Данные направления «расходятся» из одной и той же точки – исходного положения, которое должно принадлежать к ядру (в качестве него берется состояние эквивалентного обмена). В рамках такого подхода, меняя специальным образом положение исходной точки и лучей выбираемых направлений, можно строить «сети» (симплексные триангуляции – см., например, [22]), аппроксимирующие достаточно точно Парето-границу и ядро. Но в наших исследованиях использовалась только «звездообразная» аппроксимирующая структура.

Пусть λ – вектор территориальной структуры целевого показателя в исходном положении, являющемся внутренней точкой ядра, $\lambda > 0$. Направление изменения территориальной структуры задается вектором $\Delta\lambda$ ($\hat{e}\Delta\lambda = 0$, где \hat{e} – вектор-строка m единиц) так, что новый вектор структуры $\lambda + \rho\Delta\lambda$ оказывается функцией скалярного параметра ρ в области неотрицательных значений. Пусть $\lambda + \rho\Delta\lambda \geq 0$ при $0 \leq \rho \leq \rho^*$ ($\rho^* > 0$ при $\lambda > 0$); $\hat{z}(\rho)$, $\hat{z}^{(\mu)}(\rho)$ – значения целевых показателей по системе в целом и μ -й коалиции (предполагается, что все коалиции, не считая системы в целом, пронумерованы) при территориальной структуре, определенной величиной ρ . Вектор территориальной структуры в задачах коалиций не перенормируется (сумма его компонент остается

меньше единицы), поэтому скалярные показатели цели $\hat{z}(\rho)$, $\hat{z}^{(\mu)}(\rho)$ оказываются сопоставимыми между собой при одном и том же ρ .

Проводится параметрический анализ задач системы в целом и всех коалиций по ρ , значение которого растет. Для каждого ρ определяется номер коалиции $\mu(\rho)$ с максимальным среди всех прочих коалиций значением целевого показателя, которое обозначается $z(\rho)$. Пусть $\Delta\hat{z}(\rho) = \hat{z}(\rho) - z(\rho)$. Это чистый эффект взаимодействия в конкретной точке направления $\Delta\lambda$. Он показывает выигрыш от «полного» взаимодействия той коалиции, для которой он в данной точке минимален.

Поскольку исходная точка лежит внутри ядра, $\Delta\hat{z}(0) > 0$. Согласно определению ядра эта величина строго положительна и во всех других внутренних точках. Увеличение параметра заканчивается при достижении его значения $\rho^+ > 0$, при котором $\Delta\hat{z}(\rho^+) = 0$ (понятно, что $\rho^+ \leq \rho^*$). В силу возможной невыпуклости и несвязности ядра дальнейшее увеличение ρ может выявить в рассматриваемом направлении еще участки, принадлежащие к ядру, на которых чистые эффекты строго положительны. В проводимых исследованиях такая возможность не проверялась.

Величина ρ^+ служит оценкой размера, протяженности ядра в выбранном направлении, а отношение этой величины к ρ^* – относительной оценкой размера ядра в множестве допустимых решений. За оценку чистого эффекта в данном направлении принимается максимальное по ρ значение $\Delta\hat{z}(\rho)$; за относительную оценку – отношение этой величины к целевому показателю системы в той же точке. Коалиция с номером $\mu(\rho^+)$ называется блокирующей выбранное направление.

В прикладных исследованиях в качестве $\Delta\lambda$ обычно принимаются $\Delta\lambda^r = \frac{1}{1 - \lambda^r} (e^r - \lambda)$ (где e^r – r -й орт-столбец), т.е. такие изменения структуры потребления, в которых увеличивается доля r -го региона при равномерном сокращении долей остальных регионов. В анализе последовательно рассматриваются все $\Delta\lambda^r$ и $-\Delta\lambda^r$, $r = 1, \dots, m$.

Для иллюстрации сформулированных теоретических положений можно привести результаты расчетов по оценке результативности межреспубликанских взаимодействий перед распадом СССР. Эти расчеты были сделаны до распада СССР и интересны тем, что в них были практически точно предсказаны последствия этого распада.

Межреспубликанские взаимодействия перед распадом СССР.

В таблице приведены фактические эффекты межреспубликанских взаимодействий (расчеты проводились в разрезе 15 республик, но в этой таблице и на рисунке их результаты для наглядности и большей компактности агрегированы).

Как видно из таблицы, наибольшими возможностями автаркического развития обладала Россия. Если разорвать все ее внешние связи, включая экспортно-импортные, конечный продукт составит 64,5% от исходного уровня. В остальных республиках возможности изолированного развития существенно более низкие. Так, в Казахстане,

Проекция границ ядра системы макрорзон СССР на плоскость



Зона ядра в межреспубликанских отношениях накануне распада СССР

Эффекты фактических межрегиональных взаимодействий (1987 г.),
% к конечному потреблению республик

Макрорегион	Россия	Украина	Беларусь	Казах- стан	Средняя Азия	Молдова	Закав- казье	Прибал- тика	В с е г о (общий вклад)*
Россия	64,6	67,3	55,5	42,5	36,3	31,7	35,8	65,0	60,2 (+14,5)
Украина	1,2	14,8	16,5	4,9	18,0	52,1	7,4	8,1	6,3 (-9,8)
Беларусь	2,3	4,0	3,8	3,5	2,1	4,1	3,3	3,7	2,8 (-0,8)
Казахстан	1,7	0,6	-1,4	27,1	3,8	-0,6	6,7	-0,6	3,0 (-1,4)
Средняя Азия	3,7	1,1	15,4	0,5	26,4	1,7	-0,0	2,8	4,8 (-1,5)
Молдова	0,8	-2,7	-0,3	0,7	0,3	0,0	0,6	0,9	0,1 (0,0)
Закавказье	2,6	1,7	0,5	4,5	3,9	0,2	25,7	0,7	3,4 (0,0)
Прибалтика	1,9	1,5	4,3	3,3	2,5	1,9	2,7	8,0	2,2 (-1,0)
Внутренний эффект**	78,8 (45,7)	88,3 (16,1)	94,3 (3,6)	87,0 (4,4)	93,3 (6,3)	91,1 (0,1)	82,2 (3,4)	88,6 (3,2)	82,8 (0,0) (82,8)
Внешние связи	21,2	11,7	5,7	13,0	6,7	8,9	17,8	11,4	17,2
И т о г о (конеч- ное потребление)***	100,0 (58,1)	100,0 (18,5)	100,0 (3,8)	100,0 (5,1)	100,0 (6,7)	100,0 (0,1)	100,0 (4,2)	100,0 (3,6)	100,0 (100,0)

* В скобках справа – saldo межрегионального взаимодействия, % к общему потреблению.

** В скобках внизу – доля в общем потреблении.

*** То же.

Средней Азии и Закавказье доля собственного вклада чуть выше четверти, на Украине – 14,8%, а в некоторых республиках, в частности в Молдове, в состоянии автаркии конечный продукт вообще не может быть получен. В среднем по 15 республикам СССР доля собственного вклада составляет 45,8% от конечного продукта, но средняя доля по 14 республикам (без России) равна лишь 17%. Другими словами, разрыв связей по вывозу-ввозу и экспорту-импорту приводит к почти шестикратному сокращению конечного продукта в той части СССР, которая не включает Россию.

Россия играла исключительно важную роль в системе межреспубликанских взаимоотношений. Ее вклад в конечный продукт остальных республик составлял в среднем 54%, причем для Украины – 67,3%, для Прибалтики – 65%, для Беларуси – 55,5%. В то же время чистый внутренний эффект для России (вклад остальных республик в ее конечный продукт) составлял всего 14,3%, тогда как в среднем для остальных республик СССР этот показатель равен 71,6%. Особенно мал для России вклад Украины – только 1,2%.

Можно отметить относительно высокий вклад Украины в конечный продукт Молдовы, Беларуси и Средней Азии; Беларуси – в конечный продукт Украины и Молдовы; Казахстана – в конечный продукт Закавказья; Средней Азии – в конечный продукт Беларуси.

Показательно, что только у России сальдо межреспубликанских взаимодействий положительное.

Имеются и отрицательные эффекты взаимодействия (Украины и Беларуси с Молдовой, Молдовы, Беларуси и Прибалтики с Казахстаном, Закавказья со Средней Азией). Особенно велик (по абсолютной величине) отрицательный вклад Молдовы в конечный продукт Украины: взаимодействие с Молдовой «стоит» Украине 2,7% ее конечного продукта. Однако суммарная по всем связям величина «ущерба» весьма незначительна и составляет лишь 2% от общего размера выигрыша от взаимодействия.

На рисунке дано условное графическое изображение ядра. Показан общий вид ядра и расположение точки равновесия (пересечение осей макрорегионов) относительно нижних (пунктирная линия) и верхних (сплошная линия) пределов ядра. Выявленная зона ядра весьма

мала; она составляет менее 1% общей зоны потенциально возможных распределений потребления. Эта зона сильно вытянута вдоль оси России: доля России в пределах ядра может меняться на 33,37 п.п. и достигать 89,62% от общего конечного потребления. В этом проявляется эффект монопольного владения Россией многими видами первичного сырья. Вдоль осей Украины и Закавказья ширина ядра – всего 0,6 п.п., вдоль осей Казахстана и Средней Азии – 0,5, вдоль осей Беларуси и Прибалтики – 0,3 п.п.

Можно сказать, что исследованная часть ядра имеет форму иглы, расположенной в пространстве региональных целей параллельно оси России. «Длина» этой иглы приблизительно в 50 раз превосходит ее «ширину». Состояние эквивалентного обмена находится на том конце иглы, на котором доля России минимальна. Фактическое состояние расположено вблизи этого же конца иглы на расстоянии, составляющем две-три ее «ширины» (указать его положение на рисунке однозначно невозможно, поскольку оно является проекцией m -мерного множества на плоскость).

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХУРОВНЕВЫХ СИСТЕМ «НАЦИОНАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА – РЕГИОНЫ»

Важным направлением исследований пространственных систем на основе моделей типа ОМММ и производных от них является изучение проблем согласования интересов в двухуровневой системе «национальная экономика – регионы».

Развиваемые в ИЭОПП СО РАН подходы к согласованию региональных и народно-хозяйственных решений состоят в организации взаимодействия агрегированных межрегиональных и детализированных региональных моделей. Как направление экономико-математических исследований эти разработки к началу 80-х годов оформились в виде исследовательского проекта СИРЕНА (СИнтез РЕгиональных и НАродно-хозяйственных решений). С самого начала этот проект рассматривался как конструктивный шаг в реализации идей системного моделирования, заложенных в концепции системы моделей, раз-

виваемой в ИЭОПП. Другой причиной его появления и разработки явились все более ощутимые потребности в большей детализации отдельных региональных блоков в специализированных межрегиональных межотраслевых моделях, вплоть до встраивания в них детализированных региональных моделей. Погружение условий развития отдельных регионов в систему межрегиональных взаимосвязей позволяет эндогенизировать влияние внешних факторов регионального развития и повышает обоснованность прогнозных расчетов. Но главным мотивом возникновения проекта стало усиление внимания к изучению отношений в двухуровневой системе «национальная экономика – регионы» – темы, особенно важной для страны с федеративным устройством.

Разработка проекта СИРЕНА ориентирована на решение следующих основных задач:

- оценка сложившихся территориальных пропорций с позиций народно-хозяйственной эффективности;
- прогнозирование территориальных пропорций экономики страны на долгосрочную перспективу;
- исследование тенденций и перспектив развития крупных регионов в системе межрегиональных и межотраслевых взаимосвязей;
- анализ процессов дифференциации уровней экономического развития и уровней жизни населения регионов;
- исследование территориальных аспектов интенсификации и эффективности;
- исследование влияния крупных национальных и региональных программ и проектов на процессы территориального развития страны.

Решение этих задач опирается на развитое модельно-методическое обеспечение, создание эффективных алгоритмов согласования решений в двухуровневой системе «национальная экономика – регионы», в том числе и для организации взаимосвязанных расчетов по пространственно разнесенным региональным и межрегиональным моделям.

Изучаемые в проекте методы согласования решений основывались как на модификации известных алгоритмов децентрализованных прогнозных расчетов, так и на разработке новых методов построения согласованных решений, использующих малоитеративные процеду-

ры обмена информацией между уровнями¹. Были предложены, развиты и апробированы в вычислительных экспериментах два таких подхода. Первый подход базируется на построении функций отклика региона и народного хозяйства на его внешние связи и разовом обмене такими функциями. Второй подход основан на методах рефлекторного моделирования.

Проблемные спецификации модельного комплекса СИРЕНА.

Особенности выделяемых классов задач позволяют дифференцировать и модельно-методические подходы к их анализу. К настоящему времени в рамках проекта СИРЕНА ведутся разработки четырех проблемно ориентированных модельных комплексов, различающихся составом моделей, методическими схемами их использования, степенью интегрированности компонентов математического, программного, информационного обеспечения.

Комплекс моделей для исследования территориальной структуры народного хозяйства и межрегиональных взаимодействий.

Этот комплекс составляет ядро проекта СИРЕНА и объединяет разные типы народно-хозяйственных межрегиональных моделей: балансовые, оптимизационные, экономического взаимодействия регионов. В его рамках решаются следующие задачи:

- разработка и повышение степени адекватности территориальных народно-хозяйственных моделей. Создаются в определенном смысле универсальные модели основного варианта, ориентированные на исследование территориальных проблем верхнего уровня и территориальных аспектов народно-хозяйственных проблем. Они могут модифицироваться в различных направлениях, создавая основу тех или иных специализированных комплексов;

¹ Первые подходы к согласованию решений в двухуровневых системах «регион – национальная экономика» опубликованы в работах [23–26]. Уточненный алгоритм согласования решений крупных макрозон страны с учетом народно-хозяйственных условий описан в книге [27]. Там же предложена концепция моделирующего стенда территориальных прогнозных исследований, составившая методологическую основу для согласования решений пространственно распределенных комплексов региональных моделей.

- построение центральных и народно-хозяйственных сценариев развития страны. В режиме прикладных расчетов строятся прогнозы народно-хозяйственного развития в отраслевом и территориальном разрезе, изучаются общие вопросы социально-экономической политики, различные стратегии сокращения различий в уровнях развития регионов, ресурсосбережения и инвестирования, реконструкции и технического перевооружения, внешнеэкономической деятельности, исследуются последствия реализации крупных народно-хозяйственных проектов и программ;
- применение теории экономического взаимодействия в анализе межрегиональных взаимоотношений на основе межрегиональных моделей специальной структуры, методик и алгоритмов их использования в прикладных расчетах. Территориальные народно-хозяйственные модели, описывая «полные» и достаточно замкнутые экономические системы, выступают удобным объектом приложения некоторых теоретических результатов математической экономики.

Малоразмерная версия (макет) модельного комплекса СИРЕНА.

Макет включает малоразмерные модели, упрощенные условные или агрегированные территориальные системы. В программно-формальном отношении он эквивалентен финальному образу модельного комплекса СИРЕНА, приближение к которому происходит по мере накопления конкретного опыта, но имеет более широкий состав моделей, методических схем, более широкое целевое назначение. Могут быть выделены три основные цели создания макета, или его функции: 1) иллюстрация основных возможностей модельного комплекса СИРЕНА и свойств территориальных систем – демонстрационная функция; 2) обучение способам моделирования и модельных исследований территориальных систем, приемам работы с прикладными моделями – учебная функция; 3) апробация новых элементов (моделей, алгоритмов согласования решений, методических схем организации расчетов и т.п.) – полигонная функция.

Особое внимание в работе над макетом уделено реально-условной малоразмерной территориальной системе, которая призвана сыграть роль не дающей сбоев единой информационной среды макета. Эта

часть работы включает проведение структуризации реальной территориальной системы и типизации ее основных элементов (продуктов, ресурсов, видов деятельности, технологий, конкретных объектов), разработку процедур, имитирующих преобразование информации при переходе с одного уровня системы на другой, создание генератора информации (псевдофактов), привязку к определенной размерности.

Модельно-методический комплекс прогнозирования развития Сибири. Для изучения перспектив развития Сибири проект СИРЕНА дает различные возможности. На верхнем уровне используется целый спектр межрегиональных моделей, позволяющих рассматривать многие аспекты развития экономики Сибири в народном хозяйстве страны, эффекты экономических взаимодействий Сибирского региона и других регионов России. Выделены и изучаются основные сценарии развития Сибири².

Развитие отдельных подрайонов (зон) Сибири с народно-хозяйственных позиций исследуется на основе рефлекторных межрегиональных моделей с выделенными блоками конкретных административных или проблемных территорий. В разные годы были разработаны межрегиональные модели с блоками «Красноярский край», «Омская область», «Кемеровская область», «Южная зона Западной Сибири», модель с шестизональным представлением Сибири (Западная и Восточная и три широтные зоны в каждой)³.

² Первые результаты прогнозных расчетов развития Сибири в системе межрегиональных и межотраслевых взаимосвязей представлены в книге «Сибирь в едином народнохозяйственном комплексе» [28]. Основным методологическим результатом этих исследований стало обоснованное расчетами положение об опережающем развитии Сибири как условия обеспечения оптимального роста национальной экономики.

³ Эти разработки отражены в монографии «Экономика Сибири в разрезе широтных зон» [29]. Предполагалось, что на основе выделения более однородных территориальных объектов не только расширится круг задач исследования проблем сибирской экономики (в частности, выявление рациональной специализации и возможностей интеграции южных и северных территорий Сибири), но и повысится достоверность самих прогнозных расчетов. Главные трудности реализации этой задачи были связаны с проблемами переструктуризации статистических данных, ориентированных на сложившуюся территориальную структуру страны.

На локальном уровне используются, как правило, в изолированном режиме детализированные региональные модели и их комплексы. Взаимоувязка решений разноуровневых моделей осуществляется в прикладных расчетах экспертным путем, взаимным уточнением основных посылок расчетов в рамках общего сценария развития. Главное направление в организации взаимосвязанных расчетов – это создание более «коммуникабельных» модельных конструкций и совершенствование технологии расчетов за счет большей детализации региональных блоков (движение ко все более развитым рефлекторным моделям) в межрегиональных моделях и достройки региональных моделей блоками их сопряжения с составом и структурой моделей верхнего уровня.

Комплекс моделей для подключения региональных расчетов к проекту СИРЕНА. Важной внешней функцией проекта СИРЕНА является согласование расчетов по пространственно распределенным региональным комплексам моделей. Эти модели описывают с необходимой степенью детализации процессы регионального развития. Они разрабатываются в региональных центрах и отражают квалификацию разработчиков, специфику региона, заинтересованность региональных органов управления в их использовании. Подключение региональных комплексов моделей к проекту СИРЕНА позволяет в каждом региональном центре, ведущем исследования по развитию своего региона, иметь оценки прогнозных решений с позиций конечных народно-хозяйственных результатов. При этом открывается возможность эндогенизации вектора внешних связей региона и установления их рациональной структуры и интенсивности.

Опыт таких совместных исследований накоплен по Дальнему Востоку, Уралу, Казахстану, Украине [30, с. 211–249]. На первом этапе они сводились преимущественно к построению рефлекторных межрегиональных моделей с соответствующей региональной специализацией⁴. На следующем этапе основное внимание уделялось выявлению общих подходов к разработке региональных модельных комплексов и методи-

⁴ Эти исследования впоследствии были отражены в ряде работ, посвященных содержательным проблемам развития выделенных регионов в системе межрегиональных связей [31–33].

ческих схем их использования⁵. Обобщением этих этапов стало создание концепции моделирующего стенда территориальных исследований, рассматриваемого в качестве регулярной основы получения согласованных решений по пространственно распределенным региональным моделям разного уровня и структуры [27]. Его главную несущую конструкцию составляют трехмерная решетка (уровни иерархии, конкретные объекты, типы моделей) и система стандартов, поддерживаемая специально разработанными программными средствами: стандартов входной и выходной информации, стандартов обмена данными между уровнями иерархии, стандартами преобразования исходных моделей для размещения их в соответствующих ячейках стенда.

Комплекс региональных макромоделей для оценки направлений и приоритетов региональной социально-экономической политики (СИРЕНА-2). При моделировании многоуровневых систем и изучении проблем их развития существует класс задач, не предполагающих двухсторонние взаимосвязи. В них можно ограничиться расчетами, учитывающими только односторонние связи моделей подсистем и объектов по типу «верх – низ». Это существенно облегчает задачу согласования решений, но вместе с тем требует тщательного обоснования правомерности такого подхода⁶.

Принципы согласования решений в теоретических двухуровневых системах «национальная экономика – регионы», основанные на процедурах «верх – низ», получили развитие в разработках комплекса

⁵ Данные работы велись в течение ряда лет совместно ИЭОПП, ИЭ УрО, ИЭИ ДВО, ИСЭИ УНЦ, Иркутским научным центром СО РАН в рамках интеграционного проекта «Методология и инструментарий комплексной оценки влияния государственной политики на региональное развитие». Часть этих исследований нашла отражение в книге «Проект СИРЕНА: влияние государственной политики на региональное развитие» [34, с. 15–151].

⁶ Для многорегиональных систем, рассматриваемых в контексте межуровневых отношений «национальная экономика – регионы», одним из важных классов таких задач являются задачи обоснования государственной региональной политики, важнейшие приоритеты которой состоят в обеспечении устойчивого экономического роста регионов и снижении необъективных межрегиональных различий. Типичной формой ее осуществления является принятие решений на уровне государственных органов управления и их выполнение в регионах.

макроэкономических региональных моделей, предназначенного для оценки направлений и приоритетов региональной социально-экономической политики⁷.

Несущей конструкцией, обеспечивающей построение согласованных решений в двухуровневых системах с односторонними связями, являются процедуры сценарного подхода. Все показатели, описывающие состояние и развитие системы и ее подсистем, делятся на две группы. Первую группу образуют эндогенные переменные (расчетные, зависимые), вторую группу составляют экзогенные параметры, рассматриваемые как заданные величины в единичном цикле расчетов. Как правило, в них либо фиксируются характеристики внешних условий по отношению к рассматриваемой системе, либо задается проблемная направленность предполагаемых расчетов, либо то и другое. Поэтому важным условием согласования решений в системах с односторонними связями является корректное распространение на региональный уровень сценарных условий, определяющих выбор решений на верхнем уровне. В этом смысле сценарные параметры, используемые на региональном уровне, оставаясь для него экзогенными характеристиками, с позиций системных расчетов должны рассматриваться в качестве эндогенных переменных. При необходимости проводится иерархическая структуризация многорегиональной системы с последовательной детализацией территориальных объектов и алгоритмами последовательного распространения на нижние уровни сценарных параметров народно-хозяйственного уровня.

Прогнозно-аналитические задачи, решаемые на основе модельно-методического инструментария, структурированы по уровням территориальной системы: Россия, федеральные округа и макрорегионы, субъекты Федерации. Рабочая версия модельно-методического комплекса СИРЕНА-2 содержит девять расчетных модулей, построенных единообразно: два для уровня страны (в разрезе федеральных округов и в 25-региональной сетке) и семь для каждого федерального

⁷ Этот комплекс составляет еще одну специализированную версию модельно-го комплекса проекта СИРЕНА, получившую название СИРЕНА-2. Ее структура, развитие и примеры использования подробно описаны в работах [34–36].

округа, рассматриваемых в разрезе входящих в него регионов. Структурно в каждый модуль входят пять подсистем:

- подсистема годового мониторинга социально-экономического положения регионов;
- подсистема регионального мониторинга по данным оперативной статистики Федеральной службы государственной статистики;
- модельно-методические комплексы для краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных прогнозов социально-экономического развития регионов РФ.

Ядром всех прогнозных модулей является динамическая макроэкономическая модель региона, представляющая собой имитационную систему рекуррентного типа мягкой балансировки параметров регионального развития. Балансы выполняются с точностью до оцениваемых моделью их невязок: численности безработных (для баланса трудовых ресурсов), величины денежной эмиссии или превышения доходов над расходами (для балансов денежных доходов и расходов населения), дефицита (профицита) регионального бюджета, сальдо финансовых потоков между регионом и федеральным уровнем, величины заемных средств (для баланса потребностей в инвестициях и их предложения) и т.д.⁸.

Прогнозных показателей такой модели достаточно, чтобы рассчитать основные индикаторы регионального развития: ВРП на одного жителя или занятого в экономике и темпы его роста, изменение занятости, фондоотдачу и производительность труда, налоговую нагрузку, доходы федерального и регионального бюджетов, удельные инвестиции и др.

Специально разработанные методики и процедуры составляют основу программно-методической среды, которая обеспечивает функционирование всех составных частей модельного комплекса в едином режиме и заданной последовательности действий. Одни из этих составляющих носят частный характер, решая технические задачи сопряжения отдельных блоков, другие формализуют этапы общей методики

⁸ Математические формулировки модели приведены в книге [34]. Варианты модели описаны в работе [35].

и реализуют конкретные содержательные задачи общего процесса построения системных прогнозов регионального развития и их анализа.

С использованием сформулированной методологии и созданного на ее основе модельно-методического инструментария предложены и разработаны следующие методики решения ряда важных задач пространственного анализа, государственной региональной политики и построения сценариев социально-экономического развития страны и отдельных регионов:

- методики подготовки массивов сопоставимых региональных индикаторов и межрегиональных сопоставлений;
- методика комплексного прогнозирования социально-экономического развития региона;
- методика комплексной оценки влияния государственной социально-экономической политики на региональное развитие;
- методика расчетов общих, текущих и инвестиционных трансфертов;
- методика комплексной оценки пространственных трансформаций в различных сценариях развития экономики России.

* * *

Накопленный опыт экономико-математических исследований многорегиональных систем открывает широкие возможности как для совершенствования самого математического инструментария анализа и прогнозирования развития пространственной экономики, так и для изучения на его основе все более масштабных и актуальных содержательных проблем социально-экономического развития регионов, межрегиональных экономических взаимодействий, сочетания интересов регионов, бизнеса, государства и общества в целом. Но это тема отдельной статьи.

Литература

1. **Исследования** структуры американской экономики: теоретический и эмпирический анализ по схеме затраты – выпуск / В. Леонтьев, Х.В. Ченери и др. – М.: Госстатиздат, 1958. – Гл. III, IV.

2. **Moses L.** The stability of interregional trading patterns and input-output analysis // *The American Economic Review*. – 1955. – V. 45, No. 5.
3. **Ченери Х., Кларк П.** Экономика межотраслевых связей. – М.: Иностранная литература, 1962. – Гл. III.
4. **Stevens B.** An interregional linear programming model // *Journal of Regional Science*. – 1958. – V. I, No. 1.
5. **Moses L.A.** General equilibrium model of production, international trade and location of industry // *The Review of Economics and Statistics*. – 1960. – V. 42, No. 4.
6. **Айзард У.** Методы регионального анализа. – М.: Прогресс, 1966.
7. **Коссов В.В.** К вопросу об оптимальном планировании развития районов // *Проблемы оптимального планирования, проектирования и управления производством*. – М.: Изд-во МГУ, 1963.
8. **Коссов В.В.** Экономико-математическая модель территориального планирования // *Математические методы и проблемы размещения производства*. – М.: Экономиздат, 1963.
9. **Аганбегян А.Г.** Экономико-математические модели перспективного планирования: Автореф. дисс. ... д-ра экон. наук. – М., 1963.
10. **Маш В.А.** О задаче оптимального развития народного хозяйства на перспективу в отраслевом и территориальном разрезе // *Экономика и математические методы*. – 1965. – Т. 1, вып. 6.
11. **Гранберг А.Г.** Межотраслевые модели оптимального размещения производительных сил СССР // *Модели и методы оптимального развития размещения производства: Науч. тр. Сер. экономическая*. – Новосибирск: НГУ, 1965. – Вып. 3.
12. **Гранберг А.Г.** Экспериментальные расчеты по многоотраслевой модели оптимального развития и размещения производства по экономическим зонам СССР // *Изв. СО АН СССР. Сер. обществ. наук*. – 1968. – Вып. 3, № 11.
13. **Гранберг А.Г., Суслов В.И., Суспицын С.А.** Многорегиональные системы: экономико-математическое исследование. – Новосибирск: Сиб. науч. изд-во, 2007. – 371 с.
14. **Макаров В.Л., Рубинов А.М.** Математическая теория экономической динамики и равновесия. – М.: Наука, 1973.
15. **Полтерович В.М.** Экономическое равновесие и хозяйственный механизм. – М.: Наука, 1990.
16. **Воробьев Н.Н.** Теория игр: для экономистов-кибернетиков. – М.: Наука, 1985.
17. **Васильев В.А.** Модели экономического обмена и кооперативные игры: Учеб. пособие. – Новосибирск, 1984.
18. **Рубинштейн А.Г.** Моделирование экономических взаимодействий в территориальных системах. – Новосибирск: Наука, 1983.
19. **Гранберг А.Г.** Моделирование социалистической экономики. – М.: Экономика, 1988.
20. **Гранберг А.Г.** Основы региональной экономики. – М.: ГУ ВШЭ, 2000.

21. **Экланд И.** Элементы математической экономики. – М.: Мир, 1983.
22. **Тодд М.Дж.** Вычисления неподвижных точек и приложения к экономике. – М.: Наука, 1983.
23. **Гранберг А.Г.** Многоотраслевые модели комплексного размещения производительных сил в народном хозяйстве // Оптимальное территориально-производственное планирование / Под ред. А.Г. Аганбегяна, Д.М. Казакевича. – Новосибирск: Наука, 1969. – С. 81–120.
24. **Гранберг А.Г., Чернышов А.А.** Задача оптимального территориального планирования «Запад – Восток» // Изв. СО АН СССР. Сер. обществ. наук. – 1970. – № 6, вып. 2. – С. 75–87.
25. **Гранберг А.Г., Рубинштейн А.Г., Селиверстов В.Е. и др.** Модели согласования решений в системе «народное хозяйство – регионы» // Моделирование социально-экономического развития территориальных систем: опыт исследований в социалистических странах / Под ред. А.Г. Гранберга, Г.М. Мкртчяна. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 6–68.
26. **Суспицын С.А.** Согласование народнохозяйственных и региональных решений в проекте СИРЕНА // Экономика и мат. методы. – 1987. – Т. XXIII, вып. 6. – С. 1050–1059.
27. **Гранберг А.Г., Суспицын С.А.** Введение в системное моделирование народного хозяйства. – Новосибирск: Наука, 1988. – 304 с.
28. **Сибирь** в едином народнохозяйственном комплексе. – Новосибирск: Наука, 1980.
29. **Экономика** Сибири в разрезе широтных зон. – Новосибирск: Наука, 1985.
30. **Проект СИРЕНА: методология и инструментарий.** – Новосибирск: Наука, 1991. – 255 с.
31. **Гец В.М.** Прогнозирование динамики и структуры общественного производства союзной республики. – Киев: Наук. думка, 1987.
32. **Минакир П.А.** Синтез отраслевых и территориальных плановых решений. – М.: Наука, 1988.
33. **Моделирование** развития региональной экономики: Сб. статей / Под ред. С.Б. Байзакова; Госплан КазССР, НИИПИИ. – Алма-Ата, 1981.
34. **Проект СИРЕНА: влияние государственной политики на региональное развитие** / Отв.ред. С.А. Суспицын. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2002.
35. **Суспицын С.А.** Моделирование и анализ межуровневых отношений в Российской Федерации // Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 1999. – 196 с.
36. **Суспицын С.А.** Комплекс моделей для прогнозирования и оценки приоритетов и последствий региональной социально-экономической политики // Методология регионального прогнозирования: Докл. Всерос. науч.-практ. конф. – М.: СОПС, 2003. – С. 30–42.