

Имитационное моделирование структурных сдвигов на основе балансовых моделей

© Р.Л.Болдырев, И.Б.Руссман, И.Н.Щепина, 1999

Основой стратегического планирования должен служить анализ вариантов будущего технического перевооружения с учётом внешних факторов (политических, экологических, организационных). В качестве эффективного инструмента такого анализа предлагается использовать имитационную модель на основе модели «затраты-выпуск» В. Леонтьева. Возможность и целесообразность данного подхода продемонстрирована на примере агрегированного межотраслевого баланса Воронежской области с учётом экологических ограничений.

Сегодня в мировой научной экономической среде во многом происходит переосмысление классических моделей балансового анализа. Базовые элементы балансового анализа уже достаточно полно исследованы и изучены, но интерес к балансовым моделям не ослабевает, напротив, можно уверенно утверждать, что интенсивные исследования продолжают, по крайней мере, в нескольких направлениях. Перечислим основные из них: анализ структурных технологических изменений и экономических сдвигов; исследование матриц коэффициентов и их чувствительности; определение важности коэффициентов и пределов

их изменения; методы агрегирования и декомпозиции; анализ связей между экономическим ростом, инвестиционной активностью и структурными изменениями; модели прогнозирования и методы восполнения дефицита данных.

К сожалению, в наши дни интенсивность исследований, проводимых западными учёными, в несколько раз превышает интенсивность подобных исследований в нашей стране. Сделать такой вывод позволяет анализ публикаций. Так, за последние пять лет на Западе вышло 14 монографий, только в трёх ведущих специализированных экономико-математических журналах

«*International Regional Science Review*», «*Structural Change and Economic Dynamics*» и «*Economic Systems Research*» опубликовано порядка 80 работ по балансовому анализу и смежным вопросам.

Ещё В. Леонтьев пытался распространить метод «затраты-выпуск» на качественно разнообразные области исследований, например, использовать его в моделях взаимодействия экономики и окружающей среды или при создании глобальной межотраслевой модели см. (Гранберг, 1999). Менее известны попытки применить теоретические результаты классического балансового анализа в таких не экономических сферах, как биология, медицина, демография и социология.

Межотраслевая модель В. Леонтьева доказала свою чрезвычайную универсальность и способность к саморазвитию. Её существенное преимущество в простоте представления экономической системы и ясности получаемых выводов. Однако ограниченность базовой балансовой модели Леонтьева отчётливо осознавалась ещё им самим. Многие исследователи пытались модифицировать базовую модель для уменьшения влияния её ограничительных признаков, таких, как применение только линейных зависимостей, неиспользование оптимизационных процедур и невключение балансовых моделей в рамки теории экономического равновесия.

В базовой модели при заданном векторе потребления очень часто возникает ситуация, когда полученный вектор производства попадает в недопустимое множество. Данная статья имеет своей целью рассмотреть такой случай и предложить варианты выхода из этой ситуации. Более

того, будет показано, что решение такой задачи – это ещё один способ предсказания и измерения требуемых структурных сдвигов в экономике.

Характер возникающей недопустимости может быть и не чисто экономическим. Он может быть, например организационным, технологическим, социально-политическим или экологическим. Для разрешения противоречия между производством и потреблением существует множество путей. В условиях планово-нормативной экономики – это ограничение потребления. Другой вариант – применение жесткой инфляционной политики. Мы предлагаем альтернативный путь, когда невозможность достижения требуемого уровня потребления является сигналом к изменению промышленной стратегии и побуждает экономику к вводу инвестиций.

На основе высказанных предположений построим экономико-математическую модель оптимизационного типа, которая позволит получить автоматизированный метод построения вариантов технико-экономического развития. Под вариантами технико-экономического развития будем подразумевать возможные рациональные структуры будущего производства.

Известно, что точку равновесия в модели межотраслевого баланса Леонтьева определяет вектор выпуска

$$\bar{x} = (E - A)^{-1} \bar{x}^0,$$

где A – нормированная технологическая матрица коэффициентов прямых затрат, а \bar{x}^0 – вектор конечной продукции в постоянных ценах (вектор потребления). Заметим, что в нашей постановке задачи

рассматривается стоимостной баланс при фиксированных ценах и заданный вектор потребления уже сбалансирован наилучшим (оптимальным) для экономики способом. Это утверждение касается как абсолютных значений элементов вектора потребления, так и их пропорций по отношению друг к другу.

Итак, полученный вектор выпуска x^0 – это не являющаяся допустимой точка равновесия, в силу обсуждённых выше определённых ограничений, имеющих различную природу. В общем случае должен попасть в совокупность «благополучных» по некоторому критерию областей, которые могут быть и невыпуклыми

$$(\bar{x} \in X, X = \bigcap_i X_i, \text{ где } X_i = \{g_k(\bar{x}) \leq 0, k = 1 \dots n\}$$

i – номер критерия). В частном случае – это может быть единственная выпуклая область, образованная линейными неравенствами. Например, это могут быть ограничения на предельно допустимые концентрации вредных веществ, для поддержания устойчивой, безопасной экологической обстановки ($C\bar{x} \leq c_0$). Здесь c_0 – вектор ПДК вредных веществ разных видов, а $C = (c_{ij})$ – экологическая матрица, где c_{ij} – величины вносимых в окружающую среду вредных веществ i – вида при производстве единицы продукции j – вида.

Таким образом, задача сводится к отысканию новой точки выпуска \bar{x}^* , такой, чтобы она удовлетворяла ограничениям на выпуск ($\bar{x} \in X$) и при этом в некотором смысле оставалась близкой к точке равновесия по Леонтьеву. Другими словами, необходимо найти новое положение экономического равновесия и решить проблему минимального изменения параметров произ-

водства, гарантирующих попадание результатов в заданную область.

Для решения поставленной задачи предлагается перейти от старой производственной матрицы A к новой производственной матрице B и при этом параллельно отыскать новую точку равновесия.

Математически это можно выразить так:

$$A \rightarrow B, \quad \rho(A, B) \rightarrow \min,$$

где ρ – одна из метрик. Изменения коэффициентов должны учитывать реально имеющиеся возможности страны (региона, предприятия) и осуществляться наиболее эффективным с некоторой точки зрения способом.

Для определённости предлагается ввести критерий предпочтения в виде семейства функций $\varphi_{ij} = \varphi_{ij}(a_{ij}, b_{ij})$, определяющих «плату» за необходимую реорганизацию деятельности той или иной отрасли. Для упрощения модели положим

$$\varphi_{ij}(a_{ij}, b_{ij}) = \lambda_{ij} |a_{ij} - b_{ij}|,$$

тогда роль критерия предпочтения берёт на себя константная матрица $\Lambda = (\lambda_{ij})$, где λ_{ij} – «трудность» перехода при изменении норматива расхода услуг i -отрасли на производство единицы продукции j -отрасли.

В процессе получения сценариев (вариантов) развития нецелесообразно изменять все коэффициенты технологической матрицы. Используя механизм управления критерием предпочтения, на основании мнения экспертов мы можем либо разрешить изменение коэффициентов технологической матрицы для направлений требующих наибольшей реорганизации, либо запретить изменение коэффициентов технологической матрицы там, где отсутствует возможность для инноваций или существуют ка-

кие-либо объективные или субъективные ограничения (соответствующие λ_{ij} велики). Более того, изменения некоторых коэффициентов технологической матрицы можно ограничить нижней (матрица $\underline{B} = (\underline{b}_{ij})$) и верхней (матрица $\overline{B} = (\overline{b}_{ij})$) границами, тем самым не допустив заведомо нереальных прогнозов. Интересным будет также построение двойственных оценок с целью выяснения степени чувствительности и устойчивости коэффициентов технологической матрицы.

При расчётах использовались три критериальные матрицы – базовая, полученная путём экспертного оценивания, и две матрицы, полученные по прямым и обратным трудозатратам. Использование матриц, основанных на величинах трудовых затрат в соответствующих отраслях, отражает два противоположных подхода к определению «трудностей» перехода. В первом случае утверждается, что структурные изменения осуществляются легче там, где требуется меньше трудовых ресурсов. Во втором утверждается, что там, где требуются высокие трудозатраты, не всё экономически рационально, там нужно что-то менять, и в целом это будет дешевле и легче. В экономической истории человечества много примеров подтверждающих второе утверждение: когда именно в производственных секторах с высокими трудозатратами происходили открытия и изобретения, сильно меняющие структуру производства.

С учётом сделанных предположений модель приобретает следующий вид:

$$\begin{cases} \rho = \sum_i \sum_j \lambda_{ij} |a_{ij} - b_{ij}| \rightarrow \min \\ g_k(\bar{x}) \leq 0, \quad k = 1 \dots n \quad (C\bar{x} \leq c_0) \\ \bar{x} = \bar{x}_0 + B\bar{x} \\ \underline{b}_{ij} \leq b_{ij} \leq \overline{b}_{ij} \quad \forall i, j \end{cases} \quad (1)$$

Для решения задачи (1) можно использовать алгоритм предложенный В. Лассманном (Лассманн, 1989), когда решается заменяющая линейная задача при некотором предварительном преобразовании исходной модели. Также для решения исходной задачи (1) в силу её изначальной нелинейности можно использовать различные методы нелинейной оптимизации, однако высокая размерность, невыпуклость и овражность области определения требуют применения нестандартных процедур решения. Мы предлагаем поиск решения осуществлять по специальной альтернативной схеме (Болдырев, 1998) с использованием сверхбыстрого алгоритма построения последовательности точек, равномерно заполняющих многомерный куб (Соболь, 1981). Подробный алгоритм решения задачи не приводится здесь из-за недостатка места, и к тому же он не является предметом обсуждения в данной статье. Отметим только, что решение задачи (1) может быть и не единственным, и предложенная нами специальная схема решения предполагает поиск всех «областей благополучия».

В результате машинных экспериментов была установлена полная применимость используемых математических методов и созданных программных средств (в том числе и по временным характеристикам) для решения поставленной задачи. Была написана высокоэффективная программа для ЭВМ. Возможности разработанной программы и предложенных методов продемонстрированы при выполнении модельных расчётов на реальных агрегированных данных, относящихся к Воронежской области (см. табл. 1-5).

В качестве исходной информации для расчётов были использованы: отчетный стои-

мостной баланс производства и распределения продукции по данным областного комитета государственной статистики за 1995 г. (табл. 1); отчёт о воздействии на окружающую среду отраслей народного хозяйства (по данным Федерального центра геоэкологических систем) и базовые нормативы платы за выбросы загрязняющих веществ в окружающую

природную среду и размещение отходов по данным Минприроды РФ (Табл. 2); результаты экспертного оценивания (Табл. 3). Следует также отметить, что данные табл. 2 формируют блок экологических ограничений $C\bar{x} \leq c_0$ модели (1).

Полученные численные результаты, показывают, по мнению экспертов, адек-

Таблица 1

Агрегированная нормированная технологическая матрица коэффициентов прямых затрат за 1995г.

(на примере Воронежской области в относительных единицах)

	Сельское хозяйство	Легкая и пищевая промышленность	Прочая промышленность (кроме ТЭК)	Топливо-энергетический комплекс	Транспорт и связь	Прочие отрасли
Сельское хозяйство	0,1670	0,0859	0,0017	0,0009	0,0094	0,0199
Легкая и пищевая промышленность	0,0321	0,1770	0,0191	0,0153	0,0258	0,0240
Прочая промышленность (кроме ТЭК)	0,1325	0,0335	0,5151	0,0493	0,1544	0,1151
Топливо-энергетический комплекс	0,0743	0,0133	0,0698	0,2070	0,1139	0,1877
Транспорт и связь	0,0536	0,0028	0,0065	0,0005	0,0020	0,0162
Прочие отрасли	0,0362	0,0193	0,1046	0,2552	0,0005	0,0194

Таблица 2

Коэффициенты воздействия народного хозяйства на окружающую среду и ПДК
(в относительных единицах)

Виды загрязнений	Сельское хозяйство	Легкая и пищевая промышленность	Прочая промышленность (кроме ТЭК)	Топливо-энергетический комплекс	Транспорт и связь	Прочие отрасли	ПДК
Выброс неочищенных сточных вод	28,65	0,70	29,46	9,29	0,68	31,21	340150
Выброс вредных веществ в атмосферу	0,14	0,71	11,83	59,56	23,16	4,61	270230
Загрязнение почв и подземных водоёмов	5,89	4,04	14,54	34,17	1,13	40,23	319740

ватность модели реальным (ожидаемым) экономическим условиям. Новые матрицы технологических коэффициентов дают возможность выработать конкретные рекомендации для получения различных сценариев развития региона и последующего их обсуждения.

Анализируя результаты решения задачи можно сделать следующие выводы и рекомендации.

Новые векторы выпуска, удовлетворяющие экологическим ограничениям, полученные с использованием всех трёх критериальных матриц демонстрируют одну

Таблица 3

Критериальная матрица трудностей перехода, полученная на основе экспертного оценивания

	Сельское хозяйство	Легкая и пищевая промышленность	Прочая промышленность (кроме ТЭК)	Топливо-энергетический комплекс	Транспорт и связь	Прочие отрасли
Сельское хозяйство	1,00	1,67	0,83	1,67	1,25	2,50
Легкая и пищевая промышленность	0,60	1,00	0,50	1,00	0,75	1,50
Прочая промышленность (кроме ТЭК)	1,20	2,00	1,00	2,00	1,50	3,00
Топливо-энергетический комплекс	0,60	1,00	0,50	1,00	0,75	1,50
Транспорт и связь	0,80	1,33	0,67	1,33	1,00	2,00
Прочие отрасли	0,40	0,67	0,33	0,67	0,50	1,00

Таблица 4

Критериальная матрица трудностей перехода, полученная по прямым трудозатратам

	Сельское хозяйство	Легкая и пищевая промышленность	Прочая промышленность (кроме ТЭК)	Топливо-энергетический комплекс	Транспорт и связь	Прочие отрасли
Сельское хозяйство	1,0000	2,5678	0,7626	7,4563	1,1438	0,6518
Легкая и пищевая промышленность	0,3894	1,0000	0,2970	2,9037	0,4454	0,2538
Прочая промышленность (кроме ТЭК)	1,3112	3,3670	1,0000	9,7768	1,4998	0,8547
Топливо-энергетический комплекс	0,1341	0,3444	0,1023	1,0000	0,1534	0,0874
Транспорт и связь	0,8743	2,2450	0,6668	6,5188	1,0000	0,5699
Прочие отрасли	1,5342	3,9395	1,1700	11,4392	1,7548	1,0000

и ту же тенденцию перераспределения объёмов выпуска продукции по отраслям, что объясняется использованием постоянного блока экологических ограничений для всех трёх случаев. Естественно, что новые матрицы В для разных критериальных матриц получаются различными. При этом матрица В, полученная с использованием матрицы, сформированной экспертами, и матрица В, полученная с использованием данных по прямым трудозатратам, значительно ближе друг к другу, чем матрица В, полученная по обратным трудозатратам.

При анализе нового вектора выпуска (табл. 5) видно, что:

- примерно в два раза увеличился выпуск продукции в сельском хозяйстве, причем такое изменение не ухудшит экологическую ситуацию;

- почти в два раза увеличился также выпуск продукции в таких отраслях как лёгкая и пищевая промышленность, транспорт и связь;

- наложение экологических ограничений требует существенного уменьшения выпуска продукции в прочих отраслях промышленности, включая и топливно-энергетических комплекс.

Анализ сдвигов коэффициентов технологической матрицы для полученного сценария (одного из возможных) позволяет

Таблица 5

Новая нормированная производственная матрица и векторы выпуска
(трудность перехода через экспертное оценивание)

	Сельское хозяйство	Легкая и пищевая промышленность	Прочая промышленность (кроме ТЭК)	Топливо-энергетический комплекс	Транспорт и связь	Прочие отрасли
Сельское хозяйство	0,1797	0,0514	0,0287	0,0576	0,2093	0,0167
Легкая и пищевая промышленность	0,0428	0,2007	0,1349	0,0129	0,1628	0,0860
Прочая промышленность (кроме ТЭК)	0,0984	0,1628	0,1823	0,0358	0,1841	0,0277
Топливо-энергетический комплекс	0,0147	0,0674	0,0597	0,0518	0,0927	0,0594
Транспорт и связь	0,1214	0,0862	0,0492	0,0788	0,1818	0,0347
Прочие отрасли	0,1309	0,1161	0,1522	0,1580	0,1594	0,0764
Исходная точка равновесия	1310,17	1101,49	5939,05	2672,53	1147,58	3314,58
Точка равновес., удовлетв. эколог. ограничениям	2132,27	2466,61	3912,86	1821,81	2352,06	4008,36

Примечание: выделены ячейки с наибольшими сдвигами.

сделать следующие аналитические рекомендации:

- долю машиностроения в производстве продукции машиностроения можно было бы существенно снизить;
- долю, необходимую для восполнения топливной и энергетической отраслью собственных потребностей, также можно существенно снизить;
- целесообразно усиление взаимных связей других отраслей промышленности с лёгкой и пищевой отраслями;
- существенно возрастающая в сценарии суммарная доля вложений всех отраслей в транспорт и связь подтверждает необходимость кардинальных технологических изменений в данной отрасли, которая во всем мире является одной из самых прибыльных, но к сожалению, недостаточно развита в нашей стране;
- следовало бы перераспределить доли вложений всех отраслей в сельское хозяйство (в случае использования критериальной матрицы по обратным трудозатратам они наиболее значительны); этот вывод подтверждается тем, что доля ручного и неквалифицированного труда в сельском хозяйстве по-прежнему остаётся чрезмерно высокой.

Смена технологий, скорее всего, приведёт к снижению коэффициентов вредного воздействия некоторых отраслей на экологию, что в свою очередь позволит при необходимости увеличить выпуск продукции в этих отраслях.

Результаты, полученные по статистическим данным, относящимся к Воронежской области, по нашему мнению, достаточно репрезентативны для России в целом, так как в Воронежской области в рав-

ной степени представлены практически все значимые отрасли экономики (мощный аграрный сектор соседствует с развитым индустриальным производством), а относительные коэффициенты вредного воздействия отраслей промышленности на окружающую среду и нормы ПДК взяты средние по России.

На практике разносторонний и полный анализ вариантов развития на основе изменённых производственных матриц целесообразно проводить только в случае их небольшой размерности (хотя возможности программной реализации не ограничивают размерность); поэтому вместе с описываемой моделью рекомендуется использовать современные методы агрегирования и декомпозиции.

Стратегическим направлением модификации нашей модели следует считать включение моделей распространения нововведений, которые, в свою очередь, учитывают изменения уровня распространения и затрат на внедрение нововведения в зависимости от фактора времени. В результате получим модель динамического баланса. В этом случае «трудность» перехода определяется затратами на внедрение необходимых новых технологий в определённые промежутки времени. Кроме того, появляется возможность расширения баланса за счёт включения в него новых отраслей (направлений деятельности) или реструктуризации существующих.

Интересным и важным также представляется изучение закономерности изменения балансовых матриц для стран, выходящих из экономического кризиса. Нами был проведён такой анализ на примере экономики Италии в период с 1950

по 1955 годы с использованием данных по 15 отраслям (Болдырев и др., 1999).

В целом, описанную выше модель следует понимать как один из эффективных инструментов анализа, некий генератор сценариев (вариантов) развития объектов самой разной природы. В процессе анализа построенных вариантов развития можно

оценить наиболее перспективные направления инновационной деятельности, определить «узкие» места возможных структурных сдвигов и трудности перехода к новым технологиям, что является важным для выработки промышленных стратегий и государственного регулирования инвестиционной политики в области НТП.

Литература

1. *Болдырев Р.Л.* Моделирование и поиск новых технологий. // Сборник трудов VI международной научной конференции «Актуальные проблемы информатики» – Минск, БГУ, 1998, – С. 262-268.
2. *Болдырев Р.Л., Руссман И.Б., Щепина И.Н.* Визуализация и регрессия в изучении балансовых моделей. // Тезисы докладов и сообщений 21-й международной школы-семинара «Системное моделирование социально-экономических процессов» – Ст. Оскол, ВГУ, 1999, – С. 34.
3. *Гранберг А.Г.* Мир Василия Леонтьева. // Экономическая наука современной России. №1, 1999, – С. 114-123.
4. *Лассманн В., Куммеров Э.* Теория и практика комплексного метода линейной оптимизации. // Сборник научных трудов «Экономико-математические модели и методы», Воронеж, изд. ВГУ, 1989, – С 102-107.
5. *Соболь И.М., Статников Р.Б.* Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981.