

РАВНОВЕСНЫЕ СОСТОЯНИЯ И КОАЛИЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ВЛИЯНИЕ ОТКРЫТОСТИ²

Суслов В. И.

*Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН,
Россия, г. Новосибирск проспект Лаврентьева д. 17
suslov@ieie.nsc.ru,*

Доможиров Д. А.

*Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН,
Россия, г. Новосибирск проспект Лаврентьева д. 17
d.domozhirov@gmail.com,*

Ибрагимов Н. М.

*Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН,
Россия, г. Новосибирск проспект Лаврентьева д. 17,
Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
ул. Пирогова, 1
naimdjon@ieie.nsc.ru*

Аннотация: Для одного класса оптимизационных межрегиональных моделей «затраты-выпуск» вводятся новые инструментальные понятия для исследования взаимозависимостей трех характеристик межрегиональной системы: равновесности, коалиционной устойчивости и открытости. Проведена серия расчетов, иллюстрирующая принципиальные различия свойств замкнутой и открытой межрегиональной системы.

Ключевые слова: Межрегиональные системы, модели «затраты-выпуск», вычислимое общее равновесие, равновесие Вальраса, ядро кооперативной игры.

Введение

Класс оптимизационных межрегиональных моделей «затраты-выпуск» (ОМММ) [4] традиционно используется в ИЭОПП СО РАН для задач анализа и прогнозирования многорегиональной экономики. Теоретическая база, на которой строятся данные модель, допускает модельные постановки в виде кооперативной игры [3, 4] и в виде модели общего равновесия [2, 4]. Для простых модификаций, моделирующих замкнутую экономику, математически доказаны результаты [1, 2, 3], связывающие все модельные постановки в единую непротиворечивую теоретическую конструкцию, наделяющую межрегиональные модели «хорошими» свойствами из классической математической экономики: существование и неблокируемость вальрасова равновесия, существование эджвортских k -ядер, включение множества вальрасовых равновесий в множество эджвортских равновесий.

Наличие теории для кооперативно-игровой и равновесной постановок позволяет расширить применение ОМММ (см. постановку в [4]) для более тонкого анализа межрегиональных отношений, в частности, для анализа эквивалентности и взаимовыгодности межрегиональных взаимодействий. ОМММ как модель вычислимого равновесия используется для анализа эквивалентности межрегионального обмена (равновесный анализ). Кооперативная постановка модели позволяет использовать ее для задач экономики интеграции, а именно, для исследования экономических предпосылок межрегиональной дезинтеграции (коалиционный анализ).

Данный инструментарий успешно действует для модификаций модели с экзогенной внешней торговлей (с фиксированными значениями переменных экспорта-импорта), которые, по сути, математически эквивалентны моделям замкнутой экономики. Однако попытка формально перенести применение тех же методов анализа на модификацию модели с эндогенной внешней торговлей привела к озадачивающим результатам: для рассчитанного по восьмьрегиональной модели экономики РФ приближения вальрасова равновесия нашлось множество блокирующих коалиций, что противоречит предсказаниям из классической математической экономики, согласно которым вальрасово равновесие не блокируется.

В настоящем исследовании выполнено понятийное расширение модельного аппарата, позволяющее численно проанализировать влияние открытости модельной экономики на свойства ее

² Работа выполнена по плану НИР ИЭОПП СО РАН, проект XI.171.1.1. «Разработка, апробация и применение в теоретических и прикладных исследованиях программно-методических комплексов и информационных систем анализа и прогнозирования социально-экономических процессов», № АААА-А17-117022250129-2

равновесных и коалиционно устойчивых состояний, а также представлены результаты и интерпретация соответствующих численных экспериментов.

Описание модели

Полная математическая постановка рассматриваемой модели приведена в [5], что позволяет нам ограничиться в данной статье ее вербальным описанием и схемой (см.рис.1).

Модель представляет собой линейную задачу векторной оптимизации, в которой целевые переменные регионов z^r (конечное потребление) скаляризуются в общесистемную целевую переменную z ограничениями вида

$$z^r - \lambda^r z \leq 0,$$

где $(\lambda^r)_{r \in R}$ – экзогенный вектор территориальной структуры конечного потребления, такой что

$$0 \leq \lambda^r \leq 1, \sum_r \lambda^r = 1.$$

Каждому вектору λ соответствует некоторое оптимальное решение прямой и двойственной задач линейного программирования (точка границы Парето многокритериальной задачи).

Ограничения модели представлены, прежде всего, региональными балансами производства-распределения продукции, которые связывают переменные производства региона, межрегиональных перевозок, регионального экспорта-импорта и регионального потребления. Кроме того, действует общесистемное ограничение на сальдо внешнеторгового баланса связывает переменные экспорта и импорта всех регионов. Присутствующие в данном ограничении коэффициенты мировых цен определяют свойства внешнего рынка.

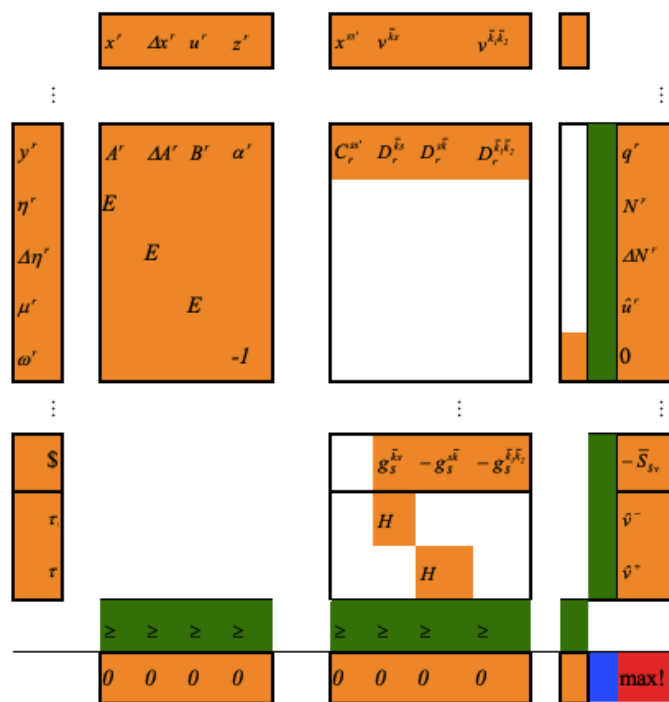


Рис. 1 Схема блоков модели

Из оптимального решения прямой и двойственной задачи алгебраически вычисляется вектор сальдо межрегионального обмена $(S^r)_{r \in R}$. Территориальные пропорции λ^r , для которых вектор $(S^r)_{r \in R}$ состоит из нулей, соответствуют состоянию эквивалентного обмена (равновесие с нулевым сальдо).

Перейдя к кооперативно-игровой постановке модели, мы можем поставить следующий вопрос: найдется ли такая коалиция регионов, каждый участник которой выиграет от обособления данной коалиции из системы? Или, формально, блокирует ли коалиция T состояние λ ($z_T^r > z^r \forall r \in T$)? Для этого с помощью некоторой алгоритмической процедуры с переменными и ограничениями модели строится система неравенств, определяющая множество состояний, достижимых произвольной коалицией регионов $T \subseteq R$. Далее для этой системы неравенств строится специальная задача

линейного программирования, решение которой позволяет выявить факт блокирования коалицией T состояния λ .

Применяемые алгоритмы позволяют не только определить наличие или отсутствие блокирующей коалиции, но и измерить степень блокируемости. На практике вычисляется лишь некоторое численное приближение равновесного состояния, поэтому для анализа было решено перейти от бинарного понимания концепций равновесности, блокируемости и открытости к некоторой системе численных измерителей этих свойств.

Инструментальные понятия: степени неравновесности, блокируемости и открытости

Степенью неравновесности считаем величину

$$Eq = \max_r \frac{|S^r|}{z^r}.$$

Величина Eq представляет собой норму вектора из компонент сальдо межрегионального обмена, отнесенных к величине конечного потребления региона, и характеризует степень неэквивалентности межрегионального обмена в состоянии λ . Если хотя бы у одного региона сальдо межрегионального обмена будет составлять значимую часть в масштабах экономики региона, то значение невязки Eq будет велико. И наоборот, если Eq близко к нулю, то система находится в состоянии, близком к равновесию.

Степень блокируемости. Поскольку мы будем строить некоторые количественные зависимости, то бинарное свойство состояния «блокируется – не блокируется» оказывается малосодержательным. Кроме того, поскольку на блокируемость мы будем проверять не «чистые» вальрасовы равновесия, а состояния с различными значениями степени неравновесности, то часто будем получать ответ «блокируется». Поэтому имеет смысл ввести некоторые метрики блокируемости. В качестве таких метрик берем

1. максимальный относительный прирост конечного потребления регионов по всем блокирующим коалициям (по сравнению с большой коалицией)

$$W = \max_{r, S \ni r \text{ блокирует } \lambda} \left(\frac{z_S^r - z^r}{z^r} \right)$$

2. и B – количество коалиций, блокирующих данное состояние экономики λ .

Степень открытости. В рассматриваемой модификации ОМММ открытость экономики характеризуется тем, что внешнеторговые переменные (экспорт и импорт регионов) эндогенны. Функционирование внешнего рынка, характеризующее открытость экономики, представлено в модели

1. ограничением внешнеторгового баланса

$$\sum_{\bar{k}, s \in S} g_{\bar{k}s}^+ \cdot v^{\bar{k}s} - \sum_{\bar{k}, s \in S} g_{\bar{k}s}^- \cdot v^{s\bar{k}} \leq -\bar{S}_{\bar{k}}$$

2. и верхними границами способов импорта/экспорта

$$H \sum_{s \in S} v^{\bar{k}s} \leq \hat{v}^{-\bar{k}}; \quad \tau_v^{+\bar{k}}: H \sum_{s \in S} v^{s\bar{k}} \leq \hat{v}^{\bar{k}+}.$$

Таким образом, варьировать открытость мы можем изменяя вектора мировых цен $g_{\bar{k}s}^+, g_{\bar{k}s}^-$, и верхние границы способов экспорта-импорта $\hat{v}^{-\bar{k}}, \hat{v}^{\bar{k}+}$.

В частности, во-первых, мы можем сделать экономику замкнутой, выставив верхние границы переменных экспорта-импорта на 0. Во-вторых, наиболее интересным кажется эксперимент с варьированием мировых цен. Через цены в модели реализовано такое свойство, как падающая эффективность внешнего рынка (см. описание модели в [5]). Для этого у каждого региона есть несколько способов экспорта и импорта. Каждому способу v_{i_v} соответствует своя цена g_{i_v} и своя растущая по номеру i_v внешняя граница \hat{v}_{i_v} .⁴ При этом с ростом номера способа импорта цена

³ Остальные индексы переменной, кроме индекса способа экспорта, опущены.

⁴ Остальные индексы переменной, кроме индекса способа импорта, опущены.

импорта растет, а с ростом номера способа экспорта его цена падает. Это означает, что каждая новая единица внешней торговли может быть реализована по менее выгодной цене (для экспорта по более низкой цене, а для импорта по более высокой). В этом и заключается падающая эффективность внешнего рынка.

Если предположить высокую эластичность мировых цен по объемам внешней торговли, то в модели, начиная с некоторых объемов экспорта и импорта, цена окажется невыгодной. И в результате в оптимальном решении объемы внешней торговли будут невысоки. Если же, наоборот, задать низкую эластичность мировых цен, то в такой модели достаточно большие объемы экспорта-импорта все еще могут быть реализованы по выгодной цене. Таким образом, варьируя параметрами эластичности мировых цен, мы можем задавать условия разной степени доступности внешнего рынка для модельной экономики.

В модельно-программном комплексе ОМММ мировые цены задаются в дискретной шкале, в шести точках. Каждой цене соответствует один из шести способов внешней торговли. Каждый способ внешней торговли характеризуется верхней границей, которая зависит от цены, чем достигается эндогенизация внешней торговли.

Для вариации эластичностью мировых цен в модельно-программный комплекс включены управляющие параметры: 1) множитель на цену первого способа экспорта и импорта и 2) множители, зависящие от номера способа. (см.рис.2)

Параметры управления эластичностью внешнеторговых цен		Множители к способам 1-6						
Импорт	Базовый уровень цен (1 способ)	Общий уровень	Номер способа					
			2	3	4	5	6	
5	Меню данных							
1	Сельское хозяйство	0.034030	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
2	Охота и лесное хозяйство	0.060522	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
3	Рыболовство, рыбоводство	0.030966	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
4	Добыча твердого топлива	0.050949	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
5	Добыча нефти	0.050574	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
6	Добыча газа	0.199864	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
7	Руды черных металлов	0.036527	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
8	Руды цветных металлов	0.036527	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
9	Прочие ископаемые	0.030674	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
10	Пищевая	0.022536	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
11	Легкая	0.027544	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
12	Деревообработка	0.041000	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
13	Целлюлозно-бумажная	0.031760	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
14	Издательство и полиграфия	0.028170	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
15	Кокс	0.030240	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
16	Нефтепродукты	0.032400	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
17	Химические производства	0.025040	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
18	Прочие неметал. минер. продукты	0.029735	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
19	Черные металлы	0.035655	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
20	Цветные металлы	0.041364	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
21	Готовые металлические изделия	0.032960	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
22	Машиностроение (DK., DI, DM)	0.025040	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
23	Прочие производства	0.023475	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368
24	Пр-во и распределение электроэнергии	0.043045	1	1.05263	1.10526	1.21053	1.31579	1.47368

Рис. 2 Управляющие параметры эластичностью мировых цен по объемам

Степень эластичности внешней торговли для простоты задана однородной по отраслям. Для экспериментов мы сгенерировали несколько «пучков» управляющих параметров. Каждый пучок соответствует разному множителю на первый способ экспорта импорта, а каждая кривая внутри пучка задает различную степень эластичности. На рисунке 3 высота каждого пучка определяется базовым уровнем цен, а скорость падения цен по мере роста объемов внешней торговли – их эластичностью.

Каждая вариация управляющих параметров кривой мировых цен будет задавать различные по степени открытости внешнего рынка модели экономики. В качестве измерителя степени открытости используем процентное отношение суммарного внешнеторгового оборота (сумма оптимальных значений всех переменных экспорта и импорта) к общесистемному конечному потреблению.

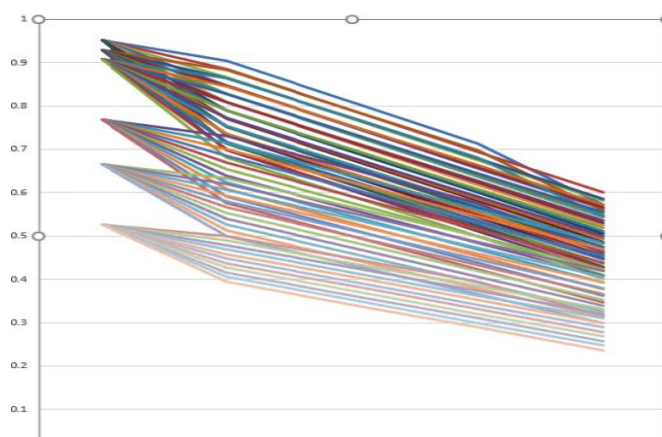


Рис. 3 Вариации управляющих параметров цен экспорта по номеру способа

Численные эксперименты.

В ходе численных экспериментов проверялась следующая гипотеза: открытость межрегиональной системы «расшатывает» ее коалиционную стабильность. Дополнительное поле возможностей, получаемое коалициями регионов на внешнем рынке, усложняет взаимовыгодное внутреннее взаимодействие с остальной системой. Регионам становится сложно найти такой дележ (распределение ресурсов между регионами), в котором единственный взаимовыгодный для всех «коалиционный контракт» – это контракт большой коалиции, то есть такой, в котором участвуют все регионы.

В терминах модели эксперимент сводится к проверке некоторых ожидаемых результатов. Прежде всего, мы ожидаем, что переход от замкнутой системы к открытой уменьшит диаметр ядра – множества неблокируемых состояний.

Далее, при определенном значении параметра открытости вычисленное равновесие может выйти за пределы ядра (может быть заблокировано некоторыми коалициями регионов). Поэтому, следует провести расчет различных приближений Вальрасовского равновесия в экономиках с различной степенью открытости.

И, наконец, с ростом степени открытости мы ожидаем скачкообразный рост степени коалиционной нестабильности. Даже при невысокой степени неравновесности будут возникать большие значения степени блокируемости, в отличие от замкнутой экономики (в которой невысокая степень неравновесности соответствует невысокой блокируемости)

Схема нашего эксперимента состоит из следующих шагов:

1. Фиксируем вариацию управляющих параметров открытости.
 - a. Решаем задачу с заданной вариацией параметров; по полученному решению фиксируем степень открытости I (отношение внешнеторгового оборота к конечному потреблению).
 - b. Запускаем алгоритм поиска равновесной территориальной структуры λ . Получаем некоторый массив территориальных структур с различной степенью неравновесности Eq .
 - i. По каждому вектору территориальной структуры $\lambda(I, Eq)$ запускаем расчет всех коалиций. На выходе по одному вектору территориальной структуры получаем массив из 255 (для 8 регионов имеем $2^8 - 1 = 255$ коалиций) векторов переменных конечного потребления регионов в коалициях S $(z^r(I, Eq))_{r \in S}$. Сопоставляя значения этих переменных в каждой коалиции со значениями из большой коалиции вычисляем две величины:
 - флаг блокирования коалицией данного состояния $\lambda(I, Eq)$ – 0 или 1;
 - относительный прирост конечного потребления в коалиции относительно конечного потребления в большой коалиции.
2. На выходе получаем большой массив данных, в котором строки представляют коалиции для разных сочетаний степени открытости и степени неравновесности, а столбцы – значения переменных конечного потребления, флаг блокируемости и относительный прирост конечного потребления.

Агрегируем данные результатов расчетов, выявляя зависимость степени блокирования от степени открытости и степени неравновесности, выполняя свертку массива по коалициям. Относительный

прирост конечного потребления агрегируем по функции $\max_S(\cdot)$, получая максимальный относительный прирост регионов в блокирующих коалициях. Флаг блокирования агрегируем по $\sum_S(\cdot)$, получая количество блокирующих коалиций. На выходе получается облако точек вида $W_I(Eq), B_I(Eq)$. Каждая точка этого облака – результат решения нескольких сотен оптимизационных задач большой размерности. (см.рис.4)

Степень открытости	Процент блокирующих коалиций (кол-во/255)								
	0,00013%	0,055%	0,594%	2,238%	2,803%	3,093%	14,489%	38,544%	42,446% (нусто)
0,000%	2,75%							32,16%	
14,000%				32,94%					
18,000%			36,08%						
18,000%						37,25%			
27,000%									38,82%
28,000%					38,82%				
28,000%		21,96%							
29,000%							39,61%	49,41%	

Рис. 4 Пример промежуточного состояния агрегированного массива результатов расчетов

- По полученным агрегированным массивам восстанавливаем кривые зависимости степени блокируемости (количества блокирующих коалиций и максимального прироста выигрыша в блокирующих коалициях) от степени неравновесности при различных степенях открытости. При этом мы кластеризуем близкие степени открытости, объединяя их в одну кривую и применяем гладкую интерполяцию пропущенных значений.

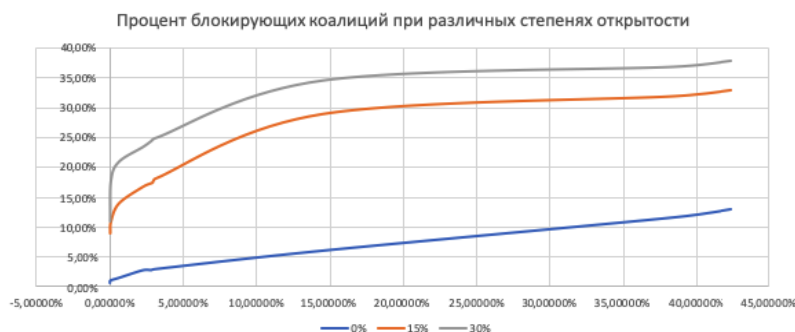


Рис. 5 Изменение характера зависимости при трех различных степенях открытости модели

Наблюдая, как меняется характер кривой при изменении степени открытости (см.рис.5), можно выделить следующие зависимости:

- В замкнутой экономике при росте степени неравновесности состояния модельной экономики метрики его блокируемости плавно растут. Хорошее приближение равновесия (с невязкой в десятитысячных процента) имеет метрики блокируемости, близкие к нулю.
- В случае открытой экономики (15% и 30% степени открытости) высокие значения метрик блокируемости наблюдаются уже «со старта», при минимальной невязке равновесия (алгоритм нашел приближения с невязкой в сотые и десятые доли процента).
- В окрестности нуля наблюдается резкий рост кривых, причем у более открытой экономики (30%) скорость этого роста выше, чем у менее открытой (15%).

Таким образом, наша гипотеза о влиянии открытости на коалиционную устойчивость равновесия подтвердилась. В случае открытых модельных экономик не было найдено ни одного неблокируемого состояния. Это является признаком (но не доказательством) того, при увеличении степени открытости ядро (множество неблокируемых состояний) уменьшается или даже вырождается.

Для перспективы дальнейшего исследования центральным является вопрос «Как с этим работать?». Ранее в исследованиях ИЭОПП по прикладному коалиционному анализу проводился поиск «зоны» ядра - интервалов по территориальной структуре каждого региона, оставляющих состояние неблокируемым. Этот поиск осуществлялся обходом границы Парето, стартующим из точки равновесия (как гарантированно неблокируемого состояния). В случае открытой экономики эта методология требует переосмысления. Например, для коалиционного анализа открытой экономики, можно заменить ядро на ϵ -ядро, считая «хорошими» состояния, дающие коалициям выигрыш не более заданного наперед значения. Альтернативным путем может быть изменение математической постановки модели, замыкающее экономику. Подобная модификация может быть получена, если

интернализовать внешние рынки, сделав их наряду с регионами «полноправными» субъектами модели, у которых также есть свои интересы и целевая функция.

Литература

1. *Васильев В.А., Сулов В.И.* Равновесие Эджворта в одной модели межрегиональных экономических отношений // Сибирский журнал индустриальной математики. - 2010. - Т. XIII, № 1. - С. 18-33.
2. *В. А. Васильев* О существовании вальрасовского равновесия в модели межрегиональных экономических отношений Дискретн. анализ и исслед. опер., 19:4 (2012), 15–34
3. *В. А. Васильев, В. И. Сулов*, “О неблокируемых состояниях многорегиональных экономических систем”, Сиб. журн. индустр. матем., 12:4 (2009), 23–34; J. Appl. Industr. Math., 4:4 (2010), 578–587
4. *Сулов В.И.* Измерение эффектов межрегиональных взаимодействий: модели, методы, результаты / отв. ред. *А.Г. Гранберг* ; ИЭОПП СО АН СССР. - Новосибирск : Наука. Сиб. отд-е, 1991. - 252 с.
5. *Сулов В. И.* Многорегиональная модель: реальное значение и современная спецификация // Регион: экономика и социология. – 2011. - № 2. – С. 19-45