

АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РЕСУРСООЕМКОСТИ НА РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.М.Лукацкий, Г.В. Федорова

Институт энергетических
исследований РАН (ИНЭИ РАН)

(E-MAIL macrolab@eriras.ru)

Постановка задачи

Предлагается метод анализа реакций экономических субъектов (ЭС) экономики РФ на вариации экзогенных параметров модели. Применительно к макроэкономическим моделям рассматриваются следующие типы вариаций:

- изменение удельных материальных затрат группы экономических субъектов (ЭС) для фиксированного продукта (например, электроэнергии или заданного топливно-энергетического ресурса (ТЭР));
- изменение структуры удельных материальных затрат для заданного ЭС, например, затрат отрасли “Электроэнергетика”.

Обзор имеющихся подходов

- Традиционным инструментом поиска согласованного решения в такого типа исследованиях служит симплекс-алгоритм. Он позволяет вести итерационный поиск согласованного решения. Количество итераций в зависимости от размерности задачи в самом худшем случае может расти экспоненциально.
- Имеются модификации алгоритма поиска согласованных решений в системах линейных неравенств для целочисленных задач.
- Ранее авторами был предложен алгоритм поиска согласованного решения системы линейных неравенств, основанный на методе обратной матрицы.

Методы исследования, I

- Одним из преимуществ метода обратной матрицы является возможность прямого (не итерационного) расчета эффектов от варьирования коэффициентов матрицы.
- Ранее были рассмотрены методы оценки эффектов от локальных вариаций коэффициентов матрицы.
- Новизна математических методов настоящей работы, состоит в том, что снимается ранее действовавшее ограничение о локальном характере вариаций.
- Возможность рассматривать нелокальные вариации существенно расширяет круг потенциально решаемых задач, дает возможность точного расчета.
- В методе сформулированы условия существования и не существования обратной матрицы после вариации коэффициентов исходной.

Методы исследования, II

- В качестве исходно варьируемой может выступать не обязательно обрабатываемая матрица A сама, но также матрицы, которые участвуют в процессе сборки матрицы A , например, матрица C удельных материальных затрат ЭС на выпуск единицы собственной продукции.
- Типы вариаций, рассматриваемые в настоящей работе, – нелокальные строчная и столбцовая.
- Строчная вариация соответствует задаче варьирования удельных затрат на выделенный продукт для заданного ансамбля ЭС;
- Столбцовая вариация соответствует задаче варьирования структуры удельных затрат заданного набора продуктов выделенным ЭС.

Математическое обоснование алгоритма , I

- Пусть задана матрица A . Предположим, что коэффициенты матрицы принадлежат некоторому полю K . В отличие от симплекс-алгоритма, на поле коэффициентов K матрицы A не накладывается условие наличия какой-либо нормировки. K может быть не только полем вещественных или комплексных чисел, а также полем вычетов по модулю простого элемента евклидова кольца (например, конечным полем мощности p^k , где p – простое число).
- Предположим, что матрица A обратима, и вычислена ее обратная матрица A^{-1} и пусть варьируются коэффициенты только какого-либо одного столбца j или одной строки i матрицы A .
- Обозначим через $\delta a^{(*,j)}$ вектор вариаций коэффициентов столбца j ; через $\delta a^{(i,*)}$, – строки i .

Математическое обоснование алгоритма , II

Ключевую роль в алгоритме расчетов эффектов от вариаций коэффициентов матрицы играет элемент:

$$q = \sum_{i,j} a^{(-1)}(j,i) * \delta a(i,j).$$

Здесь $\delta a(i,j)$ одна из выше описанных типов вариаций, задаваемая в виде матрицы. На местах неварьируемых коэффициентов стоят нули.

Предложение 1.

Если $q = -1$, то матрицы

$$(A + \delta a(i,*)) \text{ и } (A + \delta a(*,j))$$

не имеют обратных.

Если $q \neq -1$, то для этих матриц существуют им обратные, которые даются следующими выражениями:

$$(A + \delta a(i,*))^{-1} = A^{-1} - A^{-1} \delta a(i,*) A^{-1} / (1+q)$$

$$(A + \delta a(*,j))^{-1} = A^{-1} - A^{-1} \delta a(*,j) A^{-1} / (1+q).$$

Организация исследований I

- Расчет эффектов производится на многопродуктовой модели экономики типа Неймана-Гейла, в которой одна отрасль может выпускать несколько продуктов и один продукт может производиться несколькими отраслями.
- Исходным для проводимых расчетов служит **базовый вариант**, который является согласованным с точки зрения выполнимости материальных и финансовых балансов.
- **Базовый вариант** формируется с использованием ранее разработанной в ИНЭИ РАН модели экономики с выделенным энергетическим блоком МЭНЭК.

Организация исследований II

- Предметом вариаций служит матрица удельных материальных (прямых) затрат C . Производимые вариации преобразуются в вариации коэффициентов матрицы A , которая фигурирует в уравнении материального баланса.
- Для базового варианта данных генерируется обратная матрица A^{-1} уравнения материального баланса (однократно для последующих многочисленных расчетов).
- В процессе эксплуатации пользователь задает новые значения для интересующего его набора варьируемых коэффициентов матрицы удельных материальных затрат C . Система преобразует их в вариацию матрицы A . Затем в автоматическом режиме рассчитывается отклик на вариацию.
- В итоге выводятся таблицы с результатами расчетов, которые даются в % отклонений от базового варианта.

Перечень решаемых задач

- Состав варьируемых параметров формируется пользователем. Предполагаются два возможных набора:
- 1. Удельные затраты всех ЭС на заданный продукт. Например, таким продуктом может являться электроэнергия или газ, тогда вариация может отражать процесс энергосбережения. В качестве варьируемого продукта может выступать также металл (черный или цветной), тогда такая вариация может отражать процесс ресурсосбережения.
- 2. Удельные затраты заданного ЭС (например, отрасли “Электроэнергетика”). Такого типа вариация может отражать процесс взаимозамены ТЭРов, потребляемых ЭС, например, взаимозамены газ-уголь или мазут-уголь. Также может моделироваться снижение затрат на собственные нужды (потери) для ЭС, у которого они весомы, например, для отрасли “Сельское хозяйство”.

Архитектура вычислений модели

1. Производится структуризация ЭС с точки зрения весомости их, как потребителей варьируемой продукции:

- Для типа вариации 1 фиксируется варьируемый продукт (группа I). Выделяются ЭС, которые являются наиболее емкими потребителями продукта группы I, а выпускаемые этими ЭС продукты называть группой II.
- Для типа вариации 2 фиксируются все продукты, выпускаемые заданной отраслью (группа продуктов I). Затем выделяются ЭС, которые являются наиболее емкими потребителями продуктов группы I. Выпускаемые этими ЭС продукты образуют группу II.

2. И в том, и в другом случае меняются цены на продукты группы II, чтобы компенсировать изменения затрат выпускающих их отраслей в ответ на изменение затрат на потребление продукта группы I. Затем меняются цены оставшихся продуктов (группа продуктов III) для компенсации затрат выпускающих их отраслей.

3. Производится изменение объемов выпусков продуктов. Здесь также используется двухуровневая схема:

- Меняются финансовые ресурсы ЭС. В качестве компенсации меняются их инвестиционные затраты. Как следствие, меняется потребление ЭС инвестиционных продуктов (строительство, машиностроение, металл, коммерческие услуги).
- Из-за изменения удельных затрат, а также выпуска инвестиционных продуктов, меняются суммарные материальные затраты отраслей.

4. В качестве следствия изменений (1-3) возникают дисбалансы в МБ. Чтобы погасить их, пересчитываются выпуски продуктов по следующему алгоритму.

Алгоритм расчета откликов

Шаг 0. Для матрицы A фигурирующей в уравнении материального баланса (МБ) вычисляется ее обратная матрица A^{-1} .

Шаг 1. По задаваемой пользователем модификации экзогенных параметров модели вычисляется вариация δa столбца (строки) в матрице A для обращения.

Шаг 2. Пересчитываются коэффициенты используемой в модели обратной матрицы $T = (A + \delta a)^{-1}$. Этот пересчет производится без запуска процедуры обращения матрицы, используя формулы по которым формируется обновленная обратная матрица .

Шаг 3. Запускается пересчет оставшихся показателей, после чего система выдает вектор дисбалансов $disb$ материального баланса.

Шаг 4. Вектор $disb$ умножается на обратную матрицу T и получается вектор изменений выпусков продуктов, требуемых для последующего сведения МБ: $\Delta x = T \times disb$.

Шаг 5. Производится пересчет вектора выпусков продуктов $x = x_0 + \Delta x$. Здесь x_0 является вектором выпусков продуктов в базовом варианте. Запускается пересчет всех показателей модели.

Если требуется расчет эффектов от других вариаций, то переход к шагу 1.

Шаг 6. Генерация выходных форм.

Блок-схема алгоритма



Численный эксперимент

Производилось снижение удельных материальных затрат электроэнергии на 10% по сравнению с базовым вариантом для заданных ЭС. Были выбраны 12 наиболее электроемких ЭС (отраслей):

Добыча сырой нефти;

Добыча полезных ископаемых кроме ТЭР;

Целлюлозно-бумажное производство, издательская и полиграфическая деятельность;

Химическое производство;

Производство прочих неметаллов, минеральных продуктов;

Черная металлургия;

Цветная металлургия;

Производство готовых металлических изделий;

Производство машин, оборудования;

Производство и распределение э/э, газа, воды;

Железнодорожный транспорт;

Прочий транспорт.

Результаты получены для отчетного 2016 г. и прогнозного 2019 г.

Результаты численных экспериментов на примере энергопотребления (% к базов. вар.)

Наименование показателя	2016 г.	2019 г.
Валовый внутренний продукт	0,32%	0,36%
Валовое накопление основного капитала	2,04%	2,27%
Инвестиции отраслей	2,57%	2,96%
Доходы Государственных Учреждений	0,21%	0,27%
Налоговые поступления Государственных учреждений	0,32%	0,39%
Суммарный налог на прибыль	1,34%	1,42%
Косвенные налоги	0,20%	0,25%
Налог на добавленную стоимость	0,57%	0,67%

Особенности программной реализации

Описанный подход программно реализован в среде Visual Studio 2008 под операционной системой WINDOWS'8 с процессором Intel Pentium (i7). В качестве языка программирования был использован Visual Basic 2008. В качестве системы для ввода, редактирования и хранения данных модели, – Microsoft Excel 2010.

Модель включает 8715 параметров, которые могут рассматриваться как исходная информация для ввода данных. Она содержит также 52980 ограничений, на основе которых генерируются выходные формы различного вида.

Литература

1. Malakhov V., Nesytykh K, Dubynina T.. A Multi-Agent Approach for the Intersectoral Modeling of the Russian Economy. 2017 Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD), IEEE Conference Publications, October 2017, DOI:10.1109/MLSD.2017.8109656.
2. Lukatskii A.M., Fedorova G.V. Algorithms and software for studying the impact of fuel and energy prices on the economy of the Russian federation, Management of Large-Scale System Development (MLSD), 2017 Tenth International Conference, 2-4 Oct. 2017, Moscow, Russia // IEEE Xplore, DOI: 10.1109/MLSD.2017.8109653.
3. Bosco J., Etoa E., New optimal pivot rule for the simplex algorithm //Advances in Pure Mathematics, Vol. 6. 2016. – P. 647-658.
4. Clee V., Minty D.J. How good is the simplex algorithm? // Inequalities III (Proceedings of the Third Symposium on Inequalities held at the University of California, Los Angeles, Calif., September 1-9, 1969, dedicated to the memory of Theodore S. Motzkin) . – New York-London: Academic Press, 1972. – P. 159-175.
5. Shinto K.G. and Sushama G.M., “An Algorithm for Solving Integer Linear Programming Problems,” International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol. 02, Issue 07, Jul-2013, pp. 107-112.
6. Лукацкий А.М., Шапот Д.В. Оценка чувствительности оптимального решения задачи линейного программирования к вариациям коэффициентов матрицы //Кибернетика и системный анализ // 1992, №4. – С. 176-178.
7. Lang S. , Algebra. Revised Third Edition (Part One. Basic Object of Algebra, Chapter II. Rings). Springer-Verlag New York Inc., 2002. — 914 pp.
8. Werhagen M. and Van Dooren J., “Numerical aspects of different Kalman filter implementations,” IEEE Trans. Autom. Contr. , Vol. AC-31, No. 10, 1986, pp. 907-917.
9. Winkler J., “The sensitivity of linear algebraic equations,” in: J.G. Lewis (Ed), Proceedings of the Fifth SIAM Conference on Applied Linear Algebra, SIAM, Philadelphia, 1994, pp. 279-283.
10. Ji J., Wei Y., “A note of the sensitivity of the solution of the weighted linear least squares problem,” Applied Mathematics and Computation, Vol.145, 2003, p.p. 481-485.
11. . Springer-Verlag New York Inc., 2002. — 914 pp.
12. <http://www.economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz>

Благодарю за внимание