

Б. В. Дигас

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ МОДЕЛИ MERGE ПРИ НЕТОЧНЫХ ДАННЫХ*

1. Введение.

Задача прогнозирования климатических изменений и смягчения их последствий является одной из наиболее актуальных проблем, стоящих перед современным миром. Хотя нет общепризнанной точки зрения на природу движущих сил динамики климата и на возможность управления ею, многие эксперты сходятся во мнении, что наблюдающиеся в последнее столетие резкие изменения климата в определенной степени объясняются увеличением концентрации в атмосфере парниковых газов по причине антропогенного воздействия, которое проявляется, прежде всего, в значительном увеличении потребления ископаемого топлива. Для изучения различных аспектов проблемы изменения климата привлекаются так называемые комплексные оценочные модели, имеющие, как правило, междисциплинарный характер. Их основной функцией является построение множества возможных сценариев развития социально-экономических систем (как глобальной, так и региональных) с последующим выбором, на основании определенных критериев качества, оптимальной траектории. Поэтому такие модели могут использоваться компетентными органами, принимающими решения, как инструмент оценивания той или иной стратегии экономического развития. Во время дискуссий о целесообразности участия России в международных инициативах по сокращению выбросов парниковых газов хорошо зарекомендовала себя модель MERGE, разработанная американскими учеными [1, 2] и модифицированная в Международном институте прикладного системного анализа (Лаксенбург, Австрия) и Институте математики и механики УрО РАН (Екатеринбург, Россия) [3–6]. Эта модель позволяет формализовать и количественно оценить результаты применения различных стратегий сокращения выбросов парниковых газов и стратегий внедрения новых энергетических технологий. Она состоит из трех связанных между собой модулей (экономико-энергетического, климатического и оценки ущерба) и включает в себя около 20 тысяч уравнений и неравенств и около 30 тысяч скалярных переменных.

Любое моделирование, использующее такое большое количество параметров, в том числе заданных неточно, должно дополняться анализом чувствительности с целью получения информации об определенной устойчивости результатов относительно вариаций модельных переменных. Посколь-

*Работа выполнена в рамках программы Президиума РАН «Перспективы скоординированного социально-экономического развития России и Украины в общеевропейском контексте» (проект 12-П-1-1038) и Программы государственной поддержки ведущих научных школ (проект НШ-65590.2010.1).

ку в случае MERGE полное исследование чувствительности практически невозможно по причине огромного объема необходимых расчетов, сосредоточимся на изучении влияния основных параметров модели, определяющих динамику региона. Отметим, что анализ различных сценариев социально-экономического развития России, выполненный в [6], фактически представляет собой изучение чувствительности MERGE по отношению к одному из ключевых параметров (именно, темпам потенциального экономического роста). В продолжение исследований в этом направлении в данной работе вводятся понятия «глобальной» и «сравнительной» чувствительности, а также кратко описываются результаты анализа устойчивости модели к варьированию одиннадцати входных величин из числа основных параметров.

2. Исследование чувствительности модели

В настоящем исследовании используется модификация MERGE-5I, основанная на стандартных базовых величинах входных параметров [1, 5], которые, вообще говоря, могут быть неточными ввиду наличия различного рода неопределенностей в исходных данных и экспертных оценках. Для учета таких неточностей необходимо изучать чувствительность выхода модели к варьированию входных параметров. Как уже было отмечено, в работе [6] представлен численный анализ, который можно трактовать как изучение чувствительности модели к изменению параметра *grow*. Далее в развитие данного направления приведем результаты исследования чувствительности величины потери регионального ВВП вследствие применения природоохранных мер (обозначим ее через *GDPLoss*) к варьированию ключевых модельных параметров. Именно, рассматриваются

esub — эластичность замещения между парами «капитал/труд» и «электрическая/неэлектрическая энергия»;

kpvs — доля капитала в паре «капитал/труд»;

elvs — доля электричества в паре «электрическая/неэлектрическая энергия»;

aeei — скорость улучшения энергоэффективности;

kgdp — начальное отношение капитала к ВВП;

depr — уровень ежегодной амортизации;

intpr — базовая цена на нефть;

ogpd — разница в ценах на нефть и газ в пересчете на единицу энергии;

pnref — базовая цена неэлектрической энергии;

decf — максимальная величина ежегодного снижения цен на передовые технологии в энергетике;

nshf — максимальная доля электрической энергии на рынке.

Каждый параметр V варьировался в пределах $[0.7V_0, 1.3V_0]$ с шагом $0.1V_0$, где V_0 — исходное значение параметра. Исключение составил параметр $decf$, чье базовое значение равняется 0.98. Этот параметр варьировался на отрезке $[0.9, 1.0]$ с шагом 0.01. Построенное таким способом множество значений (узлов) для некоторого параметра назовем *сеткой варьирования*. В каждой серии вычислений на стандартном для модели MERGE отрезке времени $[2000, 2100]$ варьировался один параметр, остальные входные параметры принимали базовые значения.

Назовем *мгновенной чувствительностью* $IS_V(TP)$ модели к параметру V в момент времени TP наибольшее по всем значениям V_n из сетки варьирования отношение отклонения потери ВВП от базовой величины к базовому значению ВВП:

$$IS_V(TP) = \max_n \frac{GDPLoss(V_n, TP) - GDPLoss(V_0, TP)}{GDP(V_0, TP)}.$$

Заметим, что если сетка варьирования включает в себя базовую величину V_0 , то мгновенная чувствительность неотрицательна.

Назовем *глобальной чувствительностью* $GS_V(ITP, FTP)$ модели к параметру V на отрезке времени $[ITP, FTP]$ наибольшее среди абсолютных значений мгновенной чувствительности $IS_V(TP)$ по всем моментам TP дискретного времени из отрезка от ITP до FTP :

$$GS_V(ITP, FTP) = \max_{ITP \leq TP \leq FTP} |IS_V(TP)|.$$

Далее с учетом того, что начальный момент времени предполагается единым для всей серии вычислений, для простоты будем обозначать $GS_V(FTP) = GS_V(ITP, FTP)$.

В качестве примера приведем некоторые результаты, полученные для модельного региона RUS (Россия). Так, рис. 1 показывает графики глобальных чувствительностей модели к перечисленным выше параметрам на отрезках $[2005, FTP]$ как функций конечного момента времени FTP , $FTP = 2005, \dots, 2100$.

В фиксированный момент времени TP суммируем глобальные чувствительности ко всем параметрам из набора и определим *сравнительную чувствительность* $CS_V(TP)$ модели к некоторому параметру V как долю глобальной чувствительности $GS_V(TP)$ в указанной сумме:

$$CS_V(TP) = \frac{GS_V(TP)}{\sum_V GS_V(TP)} \cdot 100\%.$$

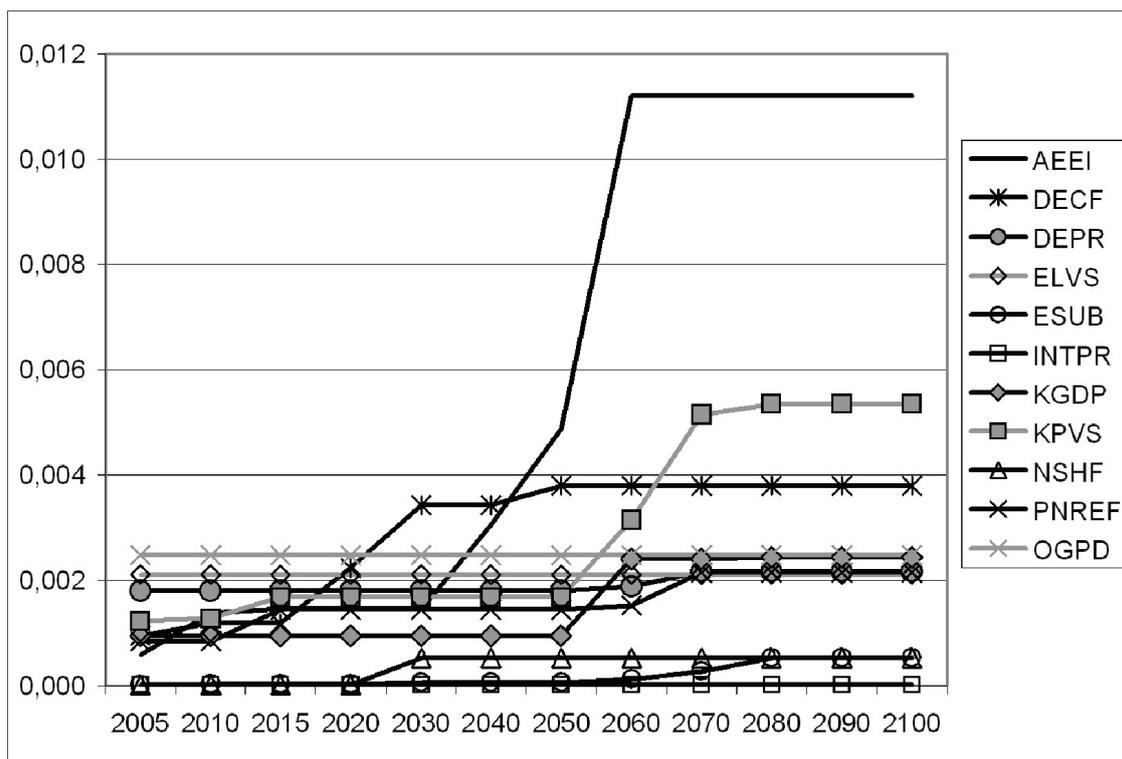


Рис. 1. Глобальные чувствительности модели к основным параметрам как функции конечного момента времени.

На рис. 2 в виде круговых диаграмм изображены сравнительные чувствительности ко всем анализируемым параметрам, вычисленные на отрезках $[ITP, FTP] = [2005, 2010]$ и $[ITP, FTP] = [2005, 2080]$. Фактически эти диаграммы представляют собой нормированные суммы сечений подграфиков глобальных чувствительностей (рис. 1) вертикальными прямыми $TP = 2010$ и $TP = 2080$.

Рисунки 1 и 2 показывают, в какой степени варьирование каждого входного параметра влияет на величину региональной потери ВВП, вычисленной посредством модели MERGE. Как видно, выходной параметр $GDPLoss$ наиболее чувствителен к изменениям таких основных параметров, как скорость улучшения энергоэффективности ($aeei$) и доля капитала в паре «капитал/труд» ($kpvs$), в то время как он почти невосприимчив к изменениям таких величин, как $intpr$, $esub$, $nshf$. Последнее свойство модели может помочь выявлению ограничений, которые не являются «сдерживающими факторами» для региона при выборе оптимальной экономической стратегии с учетом природоохранных мер.

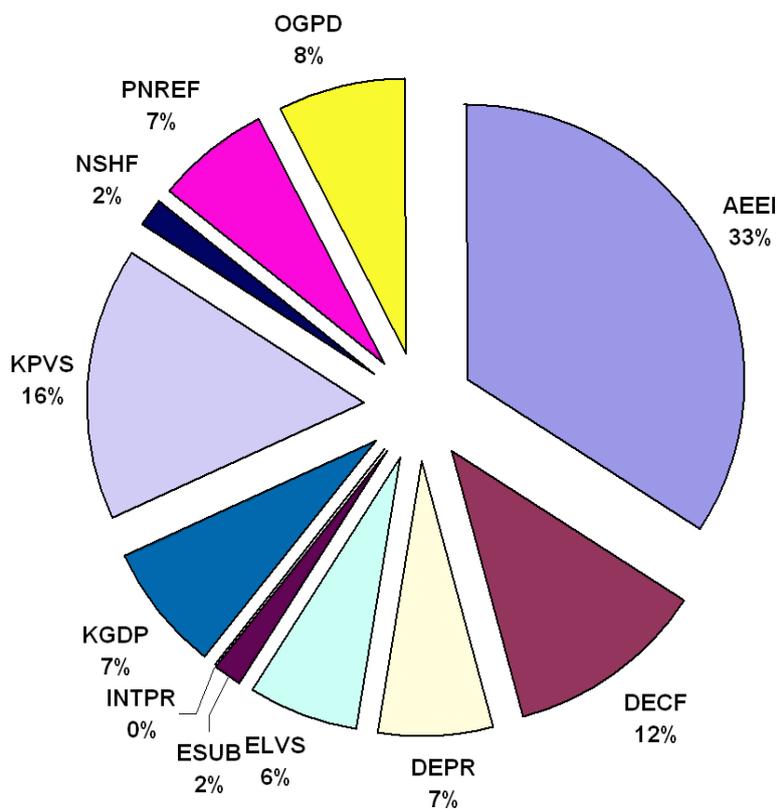
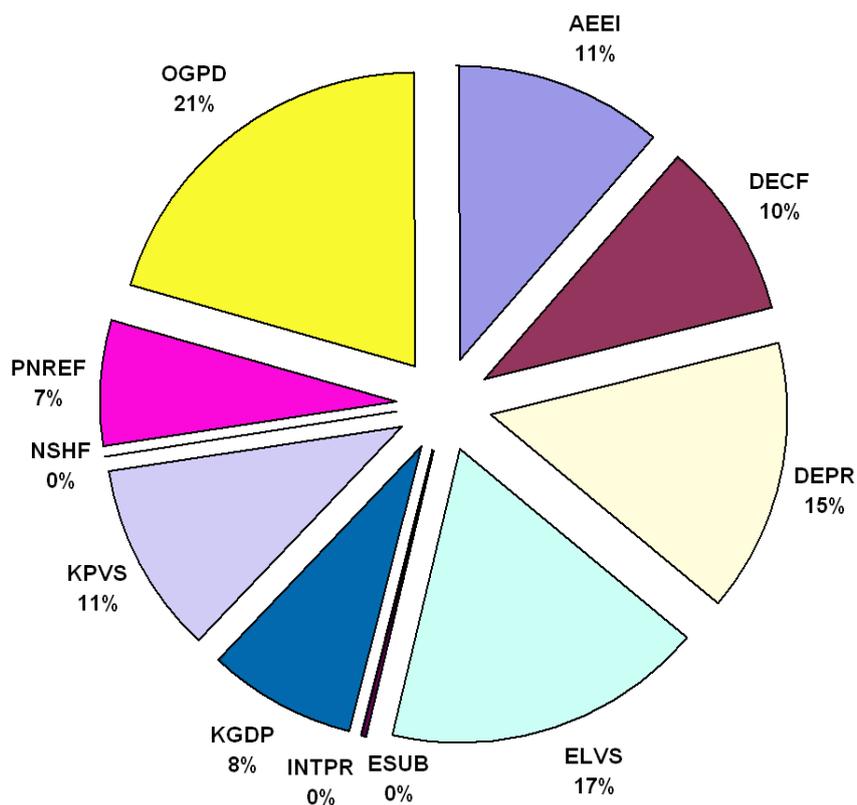


Рис. 2. Сравнительные чувствительности ко всем параметрам, вычисленные на отрезках $[ITP, FTP] = [2005, 2010]$ (вверху) и $[ITP, FTP] = [2005, 2080]$ (внизу).

Список литературы

1. Manne A., Mendelson R., Richels R. MERGE — a Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG reduction policies // *Energy Policy*. 1995. Vol. 23, No. 1. P. 17–34.
2. Manne A. Energy, the environment and the economy: hedging our bets // *Global Climate Change* / Ed. by J.M. Griffin. Edward Elgar, Northampton, MA, 2000.
3. Gritsevskii A., Schrattenholzer L. Costs of reducing carbon emissions: an integrated modeling framework approach // *Climate Change*. 2003. No. 56. P. 167–184.
4. Kryzhimsky A., Minullin Ya., Schrattenholzer L. Global long-term energy-economy-environment scenarios with an emphasis on Russia // *Perspectives in Energy Journal*. 2005. Vol. 9. P. 119–137.
5. Digas B., Maksimov V., Schrattenholzer L. On costs and benefits of Russia's participation in the Kyoto Protocol // *Interim Report IR-09-001*, IIASA, Laxenburg, Austria, 2009. 34 pp.
6. Digas B.V., Rozenberg V.L. Application of an optimisation model to studying some aspects of Russia's economic development // *Int. J. Environmental Policy and Decision Making*. 2010. Vol. 1, No. 1. P. 51–63.