

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИК БЕЛАРУСИ, РОССИИ И УКРАИНЫ  
НА ОСНОВЕ МЕЖСТРАНОВОЙ МОДЕЛИ LAM ISM<sup>1</sup>**

**В.В. Харемза,**

*доктор экономики, профессор, Университет Лестера, Великобритания*

**Ю.С. Харин,**

*доктор физико-математических наук, член-корр. НАНБ,  
Белорусский государственный университет*

**С.Б. Макарова,**

*кандидат физико-математических наук, доцент.,  
Европейский университет в Ст.-Петербурге*

**В.И. Малюгин,**

*кандидат физико-математических наук, доцент.,  
Белорусский государственный университет,*

**В.Н. Майковская,**

*кандидат экономических наук,  
Киевский национальный университет,*

**А.С. Гурин,**

*Белорусский государственный университет,*

**Ю.В. Вымятина, Ю.В. Раскина,**

*Европейский университет в Ст.-Петербурге*

Эконометрические модели на основе методологии LAM (*Long-run Adjustment Model*) до настоящего времени были разработаны для переходных экономик таких стран Центральной и Восточной Европы как Чехия, Эстония, Венгрия, Латвия, Литва, Польша, Словакия, Румыния [1, 2]. К числу вновь разработанных моделей серии LAM-3 относятся модели экономик России, Украины и Беларуси. В работах [3, 4] приводятся основные результаты построения указанных моделей: формулируются принципы организации моделей переходных

---

<sup>1</sup> Результаты исследований получены при финансовой поддержке программы INTAS в рамках проекта № 03-51-3714 “Nonstationary multivariate and nonlinear econometric models: theory and applications”.

экономик серии LAM-3; приводится краткое экономическое обоснование модели LAM-3 и обсуждаются проблемы, связанные с ее построением для переходных экономик России, Украины и Беларуси; описывается разработанное программное обеспечение для построения и использования моделей LAM-3, а также результаты оценки точности прогнозов, полученных на основе моделей LAM-3 для основных макроэкономических показателей.

Данная статья посвящена описанию результатов совместного эконометрического моделирования белорусской, российской и украинской экономик на основе межстрановой модели LAM ICM (*Inter-Country Model*), полученной на основе моделей LAM национальных экономик трех стран.

### **1. Экономические основания модели LAM-3**

Эмпирическое моделирование экономик стран Центральной и Восточной Европы и, в частности, стран бывшего Советского Союза, в течение длительного времени представляет трудную задачу. После перехода к рыночным реформам и рыночной экономике, основной акцент в построении эконометрической модели стал делаться на моделирование и интерпретацию нелинейных краткосрочных отклонений от долгосрочных равновесных состояний, а также на аспектах эмпирической работы с данными, которые представлены короткими временными рядами и, кроме того, часто не очень надежны.

Общепринятой, является точка зрения, что в период приватизации и перехода к рыночной экономике, структурные изменения принимают сложную форму адаптации к некоторому равновесному состоянию в долгосрочном периоде. Природа динамики такого рода процессов и аналогичных процессов, соответствующих периоду плановой экономики, различна. Дополнительная трудность заключается в том, что идентификация долгосрочных равновесных соотношений на основе коротких серий временных данных, весьма затруднительна.

Модель LAM-3 содержит четыре долгосрочных (коинтеграционных) соотношения. Долгосрочное уравнение для потребления непосредственно основывается на подходе Кейнса, состоящего в том, что в долгосрочном периоде эластичность потребления по доходу равна единице. Долгосрочное соотношение для выпуска и занятости получено в результате оптимизации в рамках концепции нереформируемой рабочей силы в условиях олигополистической конкуренции. Концепция нереформируемой рабочей силы тесно связана с характером приватизации в странах Восточной Европы. Хорошо известно [11-14], что особенно на ранних этапах перестройки экономики некоторые отрасли, в частности, тяжелую промышленность, сельское хозяйство, особенно трудно реформировать. Таким образом, под нереформируемой рабочей силой в исследуемой модели понимается рабочая сила в секторах, которые трудно поддаются реструктуризации. Кроме того, следуя [15], мы предполагаем, что в условиях олигополии в краткосрочном периоде функция затрат не может быть оптимизирована для нереформируемой рабочей силы.

Последнее, четвертое, долгосрочное уравнение спроса на деньги может быть специфицировано в виде:

$$m_t - p_t^* = (1 - \alpha_1)m_t - \alpha_2 y_t - \alpha_3 exr_t - \alpha_0,$$

где  $p_t^*$  - потребительские цены в долгосрочном периоде,  $y_t$  - выпуск,  $exr_t$  - обменный курс (все переменные в логарифмах), при этом ожидается, что коэффициент  $\alpha_2$  отрицательный. Равенство  $\alpha_1 = 1$  означает нейтральность денег в долгосрочном периоде. Неравенство  $\alpha_1 \neq 1$  помогает идентифицировать две стадии экономических преобразований: период финансовой либерализации, сопровождающейся высокой инфляцией ( $\alpha_1 > 1$ , *the negative non-neutrality of money*), и период финансовой стабилизации ( $\alpha_1 < 1$ , *the positive non-neutrality of money*), когда в результате быстрого процесса приватизации и недостаточной развитости финансовых инструментов рост номинальной денежной массы обгоняет рост цен (см., например, [16], [17]).

Основным в определении краткосрочной динамики модели LAM-3 является спецификация соотношения между ценами и заработной платой. В целом, предполагается, что цены и заработная плата устанавливаются в рамках несовершенной конкуренции в условиях олигополии (см. например, [18]). Равновесная заработная плата устанавливается в рамках несовершенной конкуренции в зависимости от производительности и конкурентоспособности, а инфляция определяется движением монетарных агрегатов и избыточной заработной платой («*wage surprises*»). Однако в LAM-3 олигополистическая сила фирм и профсоюзов предполагается неравной, и возможна до некоторой степени свободная конкуренция в установлении заработной платы.

## **2. Методология эконометрического моделирования переходных экономик на основе модели LAM**

Модели серии LAM-3 [1-4] относятся к малым квартальным эконометрическим моделям (содержат 25 уравнений и тождеств), реализующим «механизм коррекции ошибок», и предназначенным для анализа и краткосрочного (до одного года) прогнозирования важнейших макроэкономических показателей. Модели LAM-3 для каждой из трех стран отличаются только значениями параметров и включают 4 долгосрочные зависимости (*long-run relationships*); 21 краткосрочные зависимости (*short-run relationships*), в том числе 9 тождеств и 12 стохастических уравнений (7 из которых включают билинейные компоненты). Основной принцип построения этих моделей заключается в том, что долгосрочные (коинтеграционные) соотношения определяются между нестационарными временными рядами (в смысле подхода Энга – Грейнджера, см., например, [5]), а в терминах стационарных временных рядов моделируется краткосрочная динамика приспособления к этим долгосрочным соотношениям. В частности, долгосрочное уравнение для потребления получено в рамках нео-кейнсианского подхода, а долгосрочное соотношение между выпуском и занятостью получено как результат оптимизации для нереформируемой рабочей силы в условиях олигополистической конкуренции. Кроме того, долгосрочное уравнение спроса на

деньги построено таким образом, что позволяет учитывать особенности переходных экономик, в частности процессы финансовой либерализации и финансовой стабилизации. Более подробное обсуждение специфики моделей LAM-3 в целом дается в [2], особенности их использования для моделирования экономик Беларуси, России и Украины обсуждаются в [3, 4].

Математической основой модели LAM-3 является *модель билинейной векторной авторегрессии (Bilinear Vector AutoRegressive model – BiVAR)*, реализующая билинейный механизм коррекции ошибок (*bilinear correction mechanism*), который позволяет снять предположение о постоянстве некоторых параметров, а также учитывать структурные изменения в параметрах модели без введения дополнительных «фиктивных переменных» [7]. Идентификация модели, т.е. вычисление оценок параметров модели, осуществляется с помощью процедуры стохастической оптимизации *RSG (Repetitive Stochastic Guesstimation)*, которая менее чувствительна, чем традиционные статистические методы оценивания параметров, к объему данных, однако требует априорного задания начальных значений параметров и интервалов их изменений [6]. Для задания указанных начальных значений используется метод наименьших квадратов. Для оценки качества построенной модели используется анализ откликов моделируемых показателей на импульсные шоковые воздействия (*Impulse Response Analysis – IRA*) [7]. Данный анализ позволяет оценить устойчивость построенной модели к шоковым внешним воздействиям на ключевые экономические переменные.

### **3. Методы построения межстрановых моделей на основе эконометрических моделей национальных экономик**

Приведем вначале общее описание некоторых альтернативных методов агрегирования моделей национальных экономик в одну общую «межстрановую» модель. Для определенности будем иметь в виду объединение моделей национальных экономик LAM-Bel, LAM-Rus и LAM-Ukr для экономик Беларуси, России, Украины в межстрановую модель LAM

ICM. Символы  $B, R, U$  в описании моделей используются для обозначения экономических переменных в моделях LAM-Bel, LAM-Rus и LAM-Ukr соответственно.

Для некоторого момента времени  $t$  ( $t=1, \dots, T$ , где  $T$  длина наблюдаемых временных рядов) будем использовать следующие обозначения:

$$x_t^{(B)}, x_t^{(R)}, x_t^{(U)} \in \mathfrak{R}^N \text{ – } N\text{-вектор эндогенных переменных } (N=21);$$

$$Z_t^{(B)}, Z_t^{(R)}, Z_t^{(U)} \in \mathfrak{R}^M \text{ – } M\text{-вектор экзогенных переменных } (M=16);$$

$$x_{t-1}^{(B)}, \dots, x_{t-p}^{(B)}; x_{t-1}^{(R)}, \dots, x_{t-p}^{(R)}; x_{t-1}^{(U)}, \dots, x_{t-p}^{(U)} \in \mathfrak{R}^N \text{ – векторы лаговых эндогенных переменных,}$$

в которых  $p$  – максимальная длина лага (в случае LAM ICM имеем  $p=5$ );

$u_t^{(B)}, u_{t-1}^{(B)}; u_t^{(R)}, u_{t-1}^{(R)}; u_t^{(U)}, u_{t-1}^{(U)} \in \mathfrak{R}^N$  – текущие и лаговые для лага 1 значения инновационных процессов (случайных ошибок наблюдения), с учетом наличия билинейных компонентов в некоторых стохастических уравнениях моделей;

$$\theta^{(B)}, \theta^{(R)}, \theta^{(U)} \in \mathfrak{R}^K \text{ – } K\text{-векторы параметров моделей } (K=112).$$

Векторы экзогенных переменных  $Z_t^{(B)}, Z_t^{(R)}, Z_t^{(U)} \in \mathfrak{R}^M$  в общем случае допускают представления:

$$Z_t^{(B)} = \begin{pmatrix} z_{t(1)}^{(B)} \\ z_{t(2)}^{(B)} \end{pmatrix}, Z_t^{(R)} = \begin{pmatrix} z_{t(1)}^{(R)} \\ z_{t(2)}^{(R)} \end{pmatrix}, Z_t^{(U)} = \begin{pmatrix} z_{t(1)}^{(U)} \\ z_{t(2)}^{(U)} \end{pmatrix}.$$

Уравнения модели LAM для национальных экономик в приведенной форме, подробное описание используемых эндогенных и экзогенных переменных, а также перечень ссылок на официальные источники статистических данных приводятся в [3, 4]. Экзогенные переменные в уравнениях связи для LAM ICM, построенных с добавлением новых эндогенных переменных (см. раздел 3), описываются в разделе 4 настоящей статьи.

С учетом введенных обозначений и предположений модель LAM ICM может быть представлена в виде:

$$x_t^{(R)} = F(x_t^{(R)}; x_{t-1}^{(R)}, \dots, x_{t-p}^{(R)}, Z_t^{(R)}, u_t^{(R)}, u_{t-1}^{(R)}; \theta^{(R)}),$$

$$x_t^{(B)} = F(x_t^{(B)}; x_{t-1}^{(B)}, \dots, x_{t-p}^{(B)}, Z_t^{(B)}, u_t^{(B)}, u_{t-1}^{(B)}; \theta^{(B)}), \quad (1)$$

$$x_t^{(U)} = F(x_t^{(U)}; x_{t-1}^{(U)}, \dots, x_{t-p}^{(U)}, Z_t^{(U)}, u_t^{(U)}, u_{t-1}^{(U)}; \theta^{(U)}).$$

Приведем краткое описание четырех методов объединения моделей национальных экономик в межстрановую модель.

**1. Использование стохастически зависимых инновационных процессов.** Предполагается, что стохастическая зависимость инновационных процессов  $u_t^{(R)}, u_t^{(B)}, u_t^{(U)} \in \mathfrak{R}^N$  приводит к зависимости процессов  $x_t^{(R)}, x_t^{(B)}, x_t^{(U)} \in \mathfrak{R}^N$ , описывающих экономические переменные. Для гауссовских инновационных процессов такая зависимость полностью описывается ковариационной матрицей  $\Xi$  размерности  $(3N \times 3N)$ :

$$\Xi = Cov \left\{ \begin{pmatrix} x_t^{(R)} \\ x_t^{(B)} \\ x_t^{(U)} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x_t^{(R)} \\ x_t^{(B)} \\ x_t^{(U)} \end{pmatrix} \right\} = \begin{pmatrix} \Xi^{(R,R)} & \Xi^{(R,B)} & \Xi^{(R,U)} \\ \Xi^{(B,R)} & \Xi^{(B,B)} & \Xi^{(B,U)} \\ \Xi^{(U,R)} & \Xi^{(U,B)} & \Xi^{(U,U)} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Концептуальный смысл этого метода агрегирования эконометрических моделей основывается на предположении о том, что инновационные процессы  $u_t^{(R)}, u_t^{(B)}, u_t^{(U)} \in \mathfrak{R}^N$ , определяются одним и тем же набором факторов, который соответствует внешнему экономическому окружению (мировому рынку), что и обуславливает взаимную зависимость этих процессов. В рассматриваемом случае шоковые воздействия на систему могут осуществляться через тот или иной инновационный процесс в заданный момент (моменты) времени путем генерирования значения инновационного процесса с заданной дисперсией.

**2. Использование уравнений связи без добавления новых экзогенных переменных.** Данный метод построения межстрановой модели основывается на предположении о том, что имеют место некоторые законы развития экономики, которые обуславливают существование  $L$  известных детерминированных уравнений для экзогенных переменных ( $L < 3M$ ):

$$\begin{cases} \alpha_1(Z_t^{(R)}, Z_t^{(B)}, Z_t^{(U)}) = 0, \\ \dots \\ \alpha_L(Z_t^{(R)}, Z_t^{(B)}, Z_t^{(U)}) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Решив систему уравнений (3) можно сократить число экзогенных переменных: вместо  $3M$  исходных экзогенных переменных  $Z_t^{(R)}, Z_t^{(B)}, Z_t^{(U)}$  определить только  $3M - L$  «основных» экзогенных переменных. Найденные переменные затем используются для того, чтобы выразить все  $3M$  экзогенные переменные с помощью системы (3).

В качестве примера уравнения связи, устроенных подобным образом, рассмотрим взаимодействие экономик в предположении жесткой связи обменных курсов (см. табл. 1) вида:

$$ExRat^B = k^B ExRat^R,$$

$$ExRat^U = k^U ExRat^R,$$

где  $k^B, k^U$  некоторые заданные коэффициенты.

Заметим, что данный способ построения уравнений связи допускает два способа обобщения: а) добавление случайных ошибок наблюдения в уравнения из (3); б) добавление дополнительных параметров в уравнения (3), которые должны быть оценены по доступным статистически данным.

### 3. Построение уравнений связи с добавлением новых экзогенных переменных.

Предполагается, что, для каждой национальной модели можно ввести дополнительные переменные:

$$\tilde{Z}_t^{(R)} \in R^m, \tilde{Z}_t^{(B)} \in R^m, \tilde{Z}_t^{(U)} \in R^m.$$

Основываясь на некоторых экономических законах, по аналогии с системой (3), формируется система из  $\tilde{L}$  детерминированных уравнений ( $3m \leq \tilde{L} < 3(M + m)$ ), которые связывают основные и дополнительные переменные:

$$\beta_l(Z_t^{(R)}, \tilde{Z}_t^{(R)}, Z_t^{(B)}, \tilde{Z}_t^{(B)}, Z_t^{(U)}, \tilde{Z}_t^{(U)}) = 0, \quad l = 1, \dots, \tilde{L}. \quad (4)$$

#### 4. Построение уравнений связи с добавлением новых эндогенных переменных.

Исходя из целей исследования, для каждой модели вводятся  $L$  дополнительных эндогенных переменных:

$$\tilde{x}_t^{(R)}, \tilde{x}_t^{(B)}, \tilde{x}_t^{(U)} \in R^L,$$

и аналогично (3), (4) формируется блок из  $3L$  детерминированных уравнений, которые связывают основные и дополнительные переменные и называются уравнениями связи:

$$\begin{aligned} \gamma_{Rl} \left( x_t^{(R)}, \tilde{x}_t^{(R)}, x_t^{(B)}, \tilde{x}_t^{(B)}, x_t^{(U)}, \tilde{x}_t^{(U)}, Z_t^{(R)}, Z_t^{(B)}, Z_t^{(U)} \right) &= 0, \quad l = 1, \dots, L, \\ \gamma_{Bl} \left( x_t^{(R)}, \tilde{x}_t^{(R)}, x_t^{(B)}, \tilde{x}_t^{(B)}, x_t^{(U)}, \tilde{x}_t^{(U)}, Z_t^{(R)}, Z_t^{(B)}, Z_t^{(U)} \right) &= 0, \quad l = 1, \dots, L, \\ \gamma_{Ul} \left( x_t^{(R)}, \tilde{x}_t^{(R)}, x_t^{(B)}, \tilde{x}_t^{(B)}, x_t^{(U)}, \tilde{x}_t^{(U)}, Z_t^{(R)}, Z_t^{(B)}, Z_t^{(U)} \right) &= 0, \quad l = 1, \dots, L. \end{aligned} \quad (5)$$

Именно этот метод используется для построения LAM ICM в настоящем исследовании. Взаимосвязь между моделями национальных экономик в межстрановой модели LAM ICM достигается за счет переменных экспорта и импорта, используемых в уравнениях международной торговли. Для этой цели в каждой национальной модели LAM эндогенные переменные, соответствующие экспорту и импорту по отношению ко всем странам разбиваются на дополнительные переменные: переменные экспорта и импорта для всех стран кроме стран-партнеров и переменные, характеризующие экспорт и импорт для стран-партнеров. В разделе 6 данной статьи этот подход иллюстрируется при описании результатов имитационных экспериментов на примере модели LAM-Bel.

#### 4. Принципы организации межстрановой модели LAM ICM

**Общая характеристика межстрановой модели LAM ICM.** Межстрановая модель LAM ICM объединяет модели LAM для экономик Беларуси, России, Украины, и предназначена для решения следующих основных задач:

1) совместного прогнозирования важнейших макроэкономических показателей национальных экономик, включая: валовой внутренний продукт, показатели инвестиций, доходов и потребления, индекс потребительских цен, заработную плату, занятость в государ-

ственном и частном секторах экономики, безработицу, спрос на деньги, промышленное производство, импорт, экспорт и др.

2) проведения имитационных экспериментов для исследования влияния на макроэкономические показатели трех стран импульсных шоковых воздействий, идущих со стороны одной из экономик.

Модель LAM ICM включает 90 уравнений, в том числе 3 блока по 25 уравнений для моделей LAM национальных экономик Беларуси, России и Украины и 15 уравнений связи (по 5 для каждой страновой модели). Общее число параметров модели равно 336. Предполагается, что оценивание параметров моделей национальных экономик осуществляется автономно до объединения этих моделей в межстрановую модель.

**Описание блока уравнений связи.** Для агрегирования моделей национальных экономик в модель LAM ICM используются уравнения связи с добавлением новых эндогенных переменных (см. раздел 2). Как отмечалось, связь между моделями экономик отдельных стран осуществляется через уравнения международной торговли. Поскольку уравнения связи устроены для всех трех экономик аналогичным образом, опишем подробно структуру блока уравнений связи только для модели LAM-Bel. Описание переменных, используемых в уравнениях данного блока приводится в табл. 1.

Для белорусской модели добавляются следующие новые эндогенные переменные:

- $Expr^{BR}$ ,  $Expr^{BU}$ , отвечающие за экспорт в торговле с Россией и Украиной;
- $Imp^{BR}$ ,  $Imp^{BU}$ , отвечающие за импорт в торговле с Россией и Украиной;
- $Expr^{B0}$ ,  $Imp^{B0}$ , соответствующие экспорту и импорту Беларуси в торговле с «остальным миром» (т.е. не участвующими в модели странами).

До проведения имитационных экспериментов с ранее оцененной моделью LAM ICM, вычисляется объем экспорта Беларуси во все страны кроме России и Украины (переменная  $Expr^{B0}$ ), а также доли, которые импорт из России и Украины составляют в общем импорте Беларуси (переменные  $K^{BR}$ ,  $K^{BU}$ ), для этого используются следующие тождества:

$$Expr^{B0}_t = Expr^B_t - (Expr^{BR}_t + Expr^{BU}_t) ExRat^B_t / ConPit^B_t,$$

$$K^{BR}_t = Imp^{BR}_t / (Imp^B_t / ExRat^B_t), K^{BU}_t = Imp^{BU}_t / (Imp^B_t / ExRat^B_t).$$

**Таблица 1.** Описание переменных межстранового блока уравнений связи

Переменная	Описание переменной
$Conpi$	индекс потребительских цен для Беларуси нарастающим итогом к IV кв.1995 г.
$ExRat^B$	официальный обменный курс белорусского рубля по отношению к долл. США, руб.
$Cui^B$	коэффициент использования производственных мощностей, для Беларуси.
$Expr^B$	экспорт из Беларуси во все страны в постоянных ценах, млрд. руб.
$Expr^{B0}$	экспорт из Беларуси во все страны, кроме России и Украины в постоянных ценах, млрд. руб.
$Expr^{BR}$	экспорт из Беларуси в Россию в млрд. долл. США.
$Expr^{BU}$	экспорт из Беларуси в Украину в млрд. долл. США.
$Imp^B$	импорт Беларуси из всех стран в постоянных ценах, млрд. руб.
$Imp^{B0}$	импорт Беларуси из всех стран кроме России и Украины в постоянных ценах, млрд. руб.
$Imp^{BR}$	импорт в Беларусь из России в млрд. долл. США
$Imp^{BU}$	импорт в Беларусь из Украины в млрд. долл. США
$Imp^{RB}$	импорт в Россию из Беларуси в млрд. долл. США (берется из модели LAM-Rus)
$Imp^{UB}$	импорт в Украину из Беларуси в млрд. долл. США (берется из модели LAM-Ukr)
$Lcost$	стоимость рабочей силы в постоянных ценах к IV кв.1995 г, тыс. руб.
$Wprice$	мировой индекс цен нарастающим итогом к IV кв.1995 г
$K^{BR}$	доля импорта Беларуси из России к общему импорту Беларуси, задается экзогенно по отношению к имитационным экспериментам
$K^{BU}$	доля импорта Беларуси из Украины к общему импорту Беларуси, задается экзогенно по отношению к имитационным экспериментам

*Примечание.* Показатели в постоянных ценах рассчитываются по отношению к IV кв.1995 г.

Блок уравнений связи типа (5) состоит из пяти тождеств (соотношения 1–5) и одного стохастического уравнения (соотношение 6):

- $Expr^B_t = Expr^{B0}_t + (Expr^{BR}_t + Expr^{BU}_t) ExRat^B_t / ConPit^B_t,$
- $Expr^{BR}_t = Imp^{RB}_t,$
- $Expr^{BU}_t = Imp^{UB}_t,$

$$4. \text{Imp}^{BR}_t = K^{BR}_t \text{Imp}^B_t / \text{ExRat}^B_t,$$

$$5. \text{Imp}^{BU}_t = K^{BU}_t \text{Imp}^B_t / \text{ExRat}^B_t,$$

$$6. \text{Expr}^{B0}_t = f(\text{Expr}^{B0}_{t-1}, \text{Exrat}^B, \text{Gdp}, \text{Lcost}^B, \text{Wprice}) + \text{ResExpr}^{B0} \text{ (приведенная форма)}.$$

В процессе имитационных экспериментов происходит пересчет значений всех эндогенных переменных с учетом произведенных шоковых воздействий (описание одного из таких экспериментов приводится ниже). При этом совместно используются как основные уравнения исходных моделей LAM-3 для каждой из стран, так и описанные уравнения связи. Аналогичные блоки уравнений связи используются для моделей LAM-Rus и LAM-Ukr. При этом в обозначениях раздела 2 система основных уравнений для межстрановой модели LAM ICM допускает представление (5), где векторы-строки новых эндогенных переменных для трех национальных моделей описываются соотношениями:

$$\tilde{x}_t^{(R)} = (\text{Expr}_t^{R0}, \text{Expr}_t^{RB}, \text{Expr}_f^{RU}, \text{Imp}_t^{RB}, \text{Imp}_t^{RU}),$$

$$\tilde{x}_t^{(B)} = (\text{Expr}_t^{B0}, \text{Expr}_t^{BR}, \text{Expr}_f^{BU}, \text{Imp}_t^{BR}, \text{Imp}_t^{BU}),$$

$$\tilde{x}_t^{(U)} = (\text{Expr}_t^{U0}, \text{Expr}_t^{UR}, \text{Expr}_f^{UB}, \text{Imp}_t^{UR}, \text{Imp}_t^{UB}).$$

## 5. Программное обеспечение модели LAM ICM

Для построения и использования модели LAM ICM разработано специальное программное обеспечение GIRAF ICM (*Guesstimation, Impulse Response Analysis, and Forecasting for Inter-Country Model*). Основные возможности программы GIRAF ICM обусловлены традиционно используемой для построения моделей серии LAM технологией, а также целями использования межстрановой модели, и обеспечивают решение следующих основных задач:

- автономная идентификация моделей национальных экономик Беларуси, России и Украины с помощью процедуры стохастической оптимизации *RSG* с использованием метода наименьших квадратов для выбора начальных значений параметров;

- тестирование устойчивости модели на основе анализа откликов на импульсные шоковые воздействия с помощью процедуры *IRA*;
- совместное прогнозирование эндогенных переменных для моделей трех стран на основе стохастических краткосрочных зависимостей (*short-run relations*);
- проведение заданных имитационных экспериментов с межстрановой моделью для оценки влияния шоковых воздействий на экономики трех стран.

## 6. Результаты экспериментов с LAM ICM

**Оценка точности прогнозирования на основе модели LAM ICM.** Оценка прогностической способности моделей осуществлялась по экономическим переменным, прогнозируемым на основе краткосрочных стохастических зависимостей (см. табл. 2). Прогнозы получены на основе отдельных моделей LAM с помощью программы GIRAF ICM. Параметры моделей оценивались с помощью двухшагового метода наименьших квадратов. Для России использовалась стандартная модель LAM, в случае Беларуси и Украины – модифицированная модель (см. [3]). Подробное описание используемых уравнений дается в [2].

Для иллюстрации прогностической способности моделей в качестве характеристики точности прогнозов используется средняя абсолютная ошибка прогноза в процентах (*Mean Absolute Percentage Error – MAPE*):

$$MAPE_{\tau} = \frac{1}{T} \sum_{t=T+1}^{T+\tau} \left( \left| \frac{Z_t - Y_t}{Y_t} \right| \right) \times 100\%,$$

где  $Z_t, Y_t$  – соответственно прогнозное и фактическое значение переменной для момента (периода) времени  $t \in \{T+1, \dots, T+\tau\}$ ,  $\tau$  – горизонт прогнозирования. Ошибки прогноза вычислялись для каждой переменной в отдельности и для всех переменных сразу (среднее арифметическое значение) по одному ( $\tau=1$ ) и двум кварталам ( $\tau=2$ ).

В табл. 3-5 приводятся фактические и прогнозные значения, а также ошибки прогноза для трех стран. Для модели LAM-Rus средняя ошибка прогноза за два квартала оказалась равной 6.1%, для модели LAM-Bel – 6.9%, для модели LAM-Ukr средняя ошибка несколько

ко выше – 9.4%. В среднем наблюдается снижение точности прогнозов при увеличении горизонта прогнозирования.

**Таблица 2.** Список переменных в прогнозных экспериментах

№	Имя	Описание переменной
1.	<i>Gdp</i>	реальный ВВП, постоянные цены, млрд.руб.
2.	<i>Iindsp</i>	объем промышленной продукции, постоянные цены, млрд.руб.
3.	<i>DefGdp</i>	дефлятор ВВП нарастающим итогом к IV кв.1995 г., проценты.
4.	<i>ConPi</i>	ИПЦ нарастающим итогом к IV кв.1995 г., проценты.
5.	<i>Mon</i>	денежный агрегат М0 на конец периода, текущие цены, млрд.руб.
6.	<i>Govinc</i>	государственные доходы, текущие цены, млрд.руб.
7.	<i>Invi</i>	не государственные инвестиции, постоянные цены, млрд.руб.
8.	<i>Wagn</i>	среднемесячная зарплата, текущие цены, тыс.руб.
9.	<i>Pren</i>	индекс цен на электроэнергию нарастающим итогом, проценты.
10.	<i>Consi</i>	расходы д/х на конечное потребление, постоянные цены, млрд.руб.
11.	<i>Expr</i>	объем экспорта, постоянные цены, млрд.руб.
12.	<i>Imp</i>	объем импорта, постоянные цены, млрд.руб.
13.	<i>Expr_B0</i>	объем экспорта из Беларуси во все страны, исключая Россию и Украину в постоянных ценах, млрд.руб.

Проводилась также оценка качества прогнозов на основе теста на «превалирование прогноза» («*forecast encompassing test*») по отношению к простейшему «наивному» прогнозу, построенному на основании модели случайного блуждания [8]. Тест заключается в оценивании регрессии ошибок прогноза для модели случайного блуждания на прогноз, полученный в рамках моделей LAM, а именно:

$$\Delta y_i = \alpha + \beta_{t-1} y_i^f + e_i, \quad (6)$$

где  $\Delta y_i = y_{i,t} - y_{i,t-1}$  – ошибка «наивного» прогноза, сделанного в момент времени  $t-1$  на момент  $t$ , для  $i$ -ой переменной,  ${}_{t-1}y_i^f$  – прогноз (для  $i$ -ой переменной) из модели, сделанный в момент времени  $t-1$  на момент  $t$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  – регрессионные коэффициенты, а  $e_i$  – ошибки регрессии.

**Таблица 3.** Точность прогнозирования для LAM-Rus

№	Переменная	Прогноз		Факт. значение		Ошибка прогноза	
		2004.3	2004.4	2004.3	2004.4	2004.3	2004.4
1.	<i>Gdp</i>	559.69	543.81	534.52	509.64	4.71	6.71
2.	<i>Consi</i>	295.56	318.02	302.66	327.16	2.35	2.79
3.	<i>Govinc</i>	1398.28	1538.54	1431.20	1571.70	2.30	2.11
4.	<i>Invi</i>	101.44	148.45	91.27	113.05	11.14	31.32
5.	<i>Imp</i>	151.64	156.98	150.68	154.02	0.63	1.93
6.	<i>Expr_B0</i>	217.67	225.36	208.61	218.59	4.35	3.10
7.	<i>Expr</i>	241.09	247.43	234.21	242.99	2.93	1.83
8.	<i>Indsp</i>	343.25	374.29	342.69	339.61	0.17	10.21
9.	<i>Mon</i>	1363.16	1507.52	1290.60	1332.70	5.62	13.12
10.	<i>ConPi</i>	7.51	8.26	6.77	7.00	10.95	18.04
11.	<i>PrEn</i>	4.68	4.78	4.55	4.67	2.84	2.36
12.	<i>DefGdp</i>	8.41	9.34	8.59	9.27	2.07	0.75
13.	<i>Wagn (current)</i>	6.44	7.15	6.03	6.60	6.80	8.33
						<b>4.37</b>	<b>7.89</b>

**Таблица 4.** Точность прогнозирования для LAM-Bel

№	Переменная	Прогноз		Факт. значение		Ошибка прогноза	
		2004.3	2004.4	2004.3	2004.4	2004.3	2004.4
14.	<i>Gdp</i>	98.27	95.80	99.14	103.22	0.88	7.18
15.	<i>Consi</i>	59.25	50.46	55.72	53.58	6.34	5.83
16.	<i>Govinc</i>	4834.87	5678.19	5826.30	6245.70	17.02	9.09
17.	<i>Invi</i>	15.17	19.27	16.19	20.38	6.32	5.46
18.	<i>Imp</i>	71.87	71.39	72.06	85.34	0.27	16.35
19.	<i>Expr_B0</i>	29.22	29.90	30.76	31.58	5.00	5.32
20.	<i>Expr</i>	60.18	59.87	62.68	64.35	3.98	6.96
21.	<i>Indsp</i>	22.94	24.35	24.10	26.50	4.79	8.11
22.	<i>Mon</i>	1186.05	1310.73	1189.20	1257.61	0.27	4.22
23.	<i>ConPi</i>	130.58	145.16	126.28	132.57	3.40	9.50
24.	<i>PrEn</i>	133.66	145.94	122.50	129.50	9.11	12.70
25.	<i>DefGdp</i>	155.52	167.13	145.12	134.37	7.17	24.38
26.	<i>Wagn (current)</i>	368.29	399.28	369.00	399.33	0.19	0.01
						<b>4.98</b>	<b>8.85</b>

**Таблица 5.** Точность прогнозирования для LAM-Ukr

№	Переменная	Прогноз		Факт. значение		Ошибка прогноза	
		2004.3	2004.4	2004.3	2004.4	2004.3	2004.4
1.	<i>Gdp</i>	30093.6	29008.07	30598.00	29327.31	1.65	1.09
2.	<i>Consi</i>	18391.17	16916.61	23546.48	23546.48	21.89	28.16
3.	<i>Govinc</i>	21156.32	20867.54	27400.00	27400.00	22.79	23.84
4.	<i>Invi</i>	1834.607	4255.321	2252.59	5159.92	18.56	17.53
5.	<i>Imp</i>	13275.19	13144.08	14036.19	15607.11	5.42	15.78
6.	<i>Expr_B0</i>	18086.19	17418.64	15993.25	15607.11	13.09	11.61
7.	<i>Expr</i>	18088.87	17421.44	15995.91	16448.94	13.08	5.91
8.	<i>Indsp</i>	26516.19	29607.1	25827.21	27761.54	2.67	6.65
9.	<i>Mon</i>	39182.99	41414.6	42300.00	42345.00	7.37	2.20
10.	<i>ConPi</i>	3.361619	3.492378	3.34	3.55	0.65	1.62
11.	<i>PrEn</i>	2.336437	2.378254	2.35	2.46	0.58	3.32
12.	<i>DefGdp</i>	3.156925	3.291281	3.30	3.49	4.34	5.69
13.	<i>Wagn (current)</i>	621.8595	643.2104	630.82	703.70	1.42	8.60
						<b>8.73</b>	<b>10.15</b>

Коэффициенты уравнения (6) оцениваются методом наименьших квадратов. Значимость коэффициента  $\beta$  означает, что прогноз из модели «превалирует» над «наивным» прогнозом. Результаты тестирования моделей типа (6), построенных для трех стран показали, что прогнозы, построенные при помощи моделей LAM-Rus, LAM-Bel и LAM-Ukr превалируют над «наивными» прогнозами, т.е. содержат некоторую дополнительную информацию [4].

**Имитационные эксперименты с моделью LAM ICM.** Для того чтобы оценить динамические свойства модели в целом, а также для того, чтобы исследовать возможности моделирования откликов экономик трех стран на возможные экономические шоки и качество передачи этих шоков через систему связующих уравнений международной торговли, была проведена серия из четырех различных имитационных экспериментов. Во всех экспериментах предполагалось, что обменный курс российского рубля находится в ситуации «*dirty float*», при которой отсутствует свободное плавание национальной валюты вследствие интервенций Центрального Банка, что в наших экспериментах приводит к экзогенному заданию обменного курса российского рубля. Для валют Беларуси и Украины в целях упрощения эксперимента предполагалось, что за единичный временной промежуток (квартал в нашей модели) инфляционный эффект полностью аккумулируется обменным курсом, а именно:

$$ExRat_t^i = ExRat_{t-1}^i ConPI_t^i / ConPI_{t-1}^i,$$

где  $i=B$  для Беларуси, и  $U$  для Украины,  $ExRat_t^i$  – обменный курс страны  $i$  в момент времени  $t$ ,  $ConPI_t^i$  – индекс потребительских цен страны  $i$  в момент времени  $t$ . Эксперименты заключались в генерации импульсных шоковых воздействий разной величины в обменных курсах национальных валют в соответствии с уравнениями:

$$ExRat_t^B = ExRat_{t-1}^B ConPI_t^B / ConPI_{t-1}^B + \omega^B shock_t^B, \quad (7)$$

где  $i = B$  для Беларуси, и  $U$  для Украины, а для России

$$ExRat_t^R = ExRat_t^R + \omega^R * shock_t^R. \quad (8)$$

Переменные  $shock_t^i$  ( $i = B$  для Беларуси,  $U$  для Украины и  $R$  для России) в уравнениях (7), (8) обозначают фиктивные переменные, принимающие значение равное единице в момент шока и ноль в остальные моменты времени. Коэффициент  $\omega^i$  обозначает величину шока и выражается в долях стандартного отклонения переменной в левой части соответствующего уравнения.

Далее, для моментов времени следующих за шоком, значения переменных, входящих в модель, пересчитывались в соответствии с уравнениями для каждой из трех стран и уравнениями, входящими в блок связующих соотношений для LAM ICM модели. Чтобы исследовать влияние шока вычислялись мультипликаторы для соответствующих переменных по формуле:

$$(Y_t^s - Y_t^0) / Y_t^0, t = t_0 \dots t_n, \quad (9)$$

где  $Y_t^0$  – базовое значение исследуемой переменной в предположении отсутствия шока и  $Y_t^s$  – значение, полученное в результате совместного решения уравнений модели LAM ICM с учетом шока,  $t_0$  – момент шока,  $t_n$  – номер последнего наблюдения ( $t_n = 34$  в нашей выборке).

В качестве основного эксперимента, исследованного более подробно, был выбран эксперимент, имитирующий положительный шок в национальной валюте Беларуси (равно сильный девальвации белорусского рубля), при этом в валютах России и Украины также производились одномоментные шоки противоположного направления (соответствующие ревальвации национальных валют). Эти вспомогательные шоки в валютах России и Украины были необходимы из-за того, что связи между экономиками в данной модели устанавливаются только через механизм международной торговли, что, безусловно, является упрощением. В наших экспериментах в качестве момента шока был выбран третий квартал 1999 года, что соответствует  $t_0 = 15$  (20 наблюдений до конца выборки). Поскольку модель построена на квартальных данных, реакция в экономиках России и Украины на шок в экономике Беларуси должна проявиться уже в течение того же квартала, поэтому

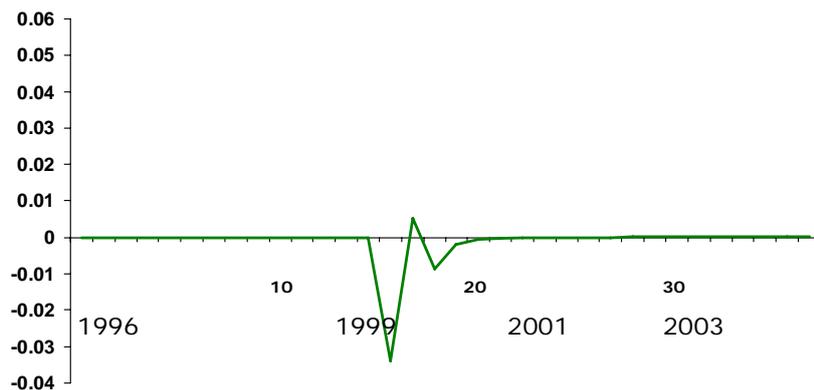
вспомогательные шоки в валютах России и Украины производились в тот же момент  $t_0 = 15$ . Соотношения между абсолютными величинами шоков в валютах Беларуси и России (Беларуси и Украины) были выбраны равными доли импорта Беларуси в общем импорте России (Украины).

В качестве первого примера рассмотрим реакцию текущего баланса Беларуси в торговле с Россией и Украиной (в отдельности) на шок  $\omega^B = +1$  в валюте Беларуси, шок в российской валюте  $\omega^R = -0.01$  и шок в украинской валюте  $\omega^U = -0.012$ . Это означает, что вместе с девальвацией белорусской валюты происходит одновременная имитация относительно незначительной ревальвации валют России и Украины. В результате шока в Беларуси наблюдается достаточно сильный эффект на краткосрочное изменение цен (прирост по сравнению с базовым периодом, вычисленный по формуле (9), составил 23% во второй период после шока). Кроме того, импорт сначала растет по сравнению с базовым вариантом (без шока), а затем ощутимо падает (на 21% в третий период после шока). Многие авторы свидетельствуют в пользу того, что в результате обесценивания национальной валюты, в краткосрочном периоде рост цен на импортные товары компенсирует снижение объема импорта. Это приводит к временному снижению торгового дефицита и проявляется в том, что график зависимости торгового баланса от времени внешне становится похож на букву *J* (так называемый «*J-curve effect*» – см., например, [9]). Подобный эффект и наблюдается в нашей модели. Графики изменений торгового баланса Беларуси с Россией и Украиной в результате валютного шока представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

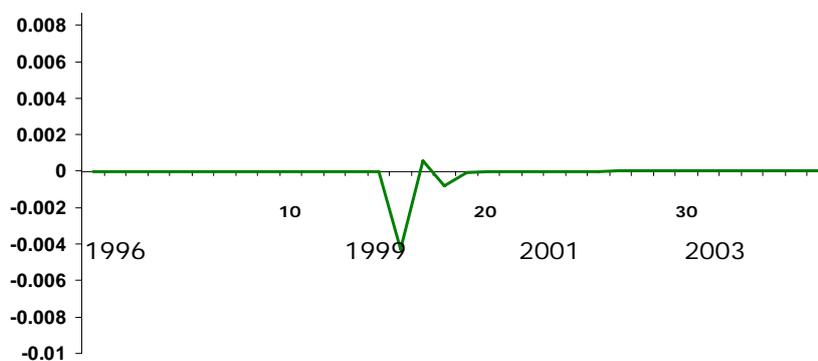
На рисунках видно заметное падение торгового баланса сразу после шока и дальнейшее постепенное затухание влияния шока. Сравнивая рис. 1 и 2 можно отметить, что эффект шока на торговый баланс с Россией заметно сильнее, чем на торговый баланс с Украиной, что, естественно, объясняется более сильной связью экономики Беларуси с экономикой России нежели с экономикой Украины.

Способность модели отражать влияние валютных шоков исследовалась также и с точки зрения поведения мультипликатора инвестиций, который рассчитывался по формуле (9). Было интересно проверить, способна ли модель имитировать *J-curve* эффект в отношении инвестиций, заключающийся в том, что первоначально после девальвации, в периодах непосредственно следующих за шоком, происходит временное снижение инвестиций, однако через некоторое время в результате повышения конкурентоспособности экономики проявляется положительный эффект (см., например, [10]). На рис. 3, где представлен мультипликатор инвестиций для обменного курса, видно, что за каждым из двух периодов падения следуют периоды значительного подъема, – эффект «*J-curve*» повторяется два раза. Отметим, что в отличие от эффектов представленных на рисунках 1 и 2, второй период подъема инвестиционного мультипликатора значительно длиннее и более ярко выражен, чем первый, а на отдаленных участках долго сохраняется положительный эффект.

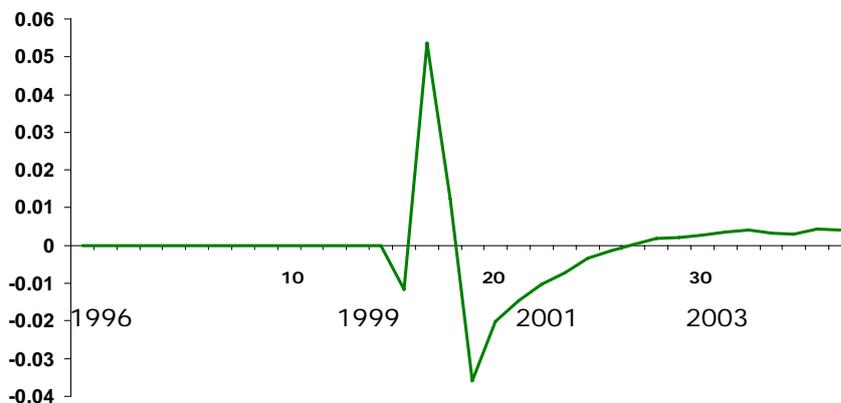
Помимо описанных выше экспериментов, проводились аналогичные эксперименты, когда первичным являлся шок в российской или украинской валюте; кроме того, варьировались величины шоков. Можно отметить, что модель в целом адекватно реагирует на имитационные эксперименты. В то же время надо подчеркнуть, что в представленной межстрановой LAM ICM модели связь между экономиками трех стран осуществляется только посредством соотношений международной торговли. Это ограничивает возможности модели и обуславливает необходимость тщательного планирования имитационных экспериментов с целью получения результатов, имеющих содержательную экономическую интерпретацию.



**Рис. 1.** Изменение торгового баланса Беларуси в торговле с Россией в результате валютного шока



**Рис.2.** Изменение торгового баланса Беларуси в торговле с Украиной в результате валютного шока



**Рис. 3.** Мультипликатор инвестиций для обменного курса белорусского рубля

## Литература

1. Charemza W.W., Strzala K. Long-run adjustment models for Eastern European economies in transition: general description. MFDC, Gdansk-Leicester, 1997. – 34 p.
2. Charemza W.W., Makarova S., Parkhomenko V. LAM modelling of Eastern European economies: Methodology, EU accession and privatisation // Proc. of EcoMod2002 on Policy Modelling. Brussels, 2002. – 41 p.
3. Харин Ю.С., Малюгин В.И., Гурин А.С. Эконометрическое моделирование белорусской экономики на основе модели восточноевропейских экономик LAM-3 // Экономический бюллетень Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь, №3, 2006. – С. 27–37.
4. Харемза В.В., Харин Ю.С., Макарова С.Б., Малюгин В.И. и др. О моделировании экономик России и Беларуси на основе эконометрической модели LAM-3 // Прикладная эконометрика. Научно-практический журнал. Москва, №2, 2006. – С. 124-139.
5. Engel R. F. and C. W. J. Granger. Cointegrated economic time series: an overview with new results // in R. F. Engel and C. W. J. Granger (eds.), Long-run economic relationships, Oxford University Press, 1991. – P. 237-266.
6. Charemza W.W. Guesstimation. // Journal of Forecasting, 2000, No 21. – P. 417-433.
7. Enders W. Applied Econometric Time Series. – John Wiley&Sons, Inc., 1995 – 433 p.
8. Харин Ю. С., Малюгин В. И., Харин А. Ю. Эконометрическое моделирование. Мн.: БГУ, 2004. – 313 с.
9. Doroodian K., C. Jung and R. Boyd. The J-curve effect and US agricultural and industrial trade, *Applied Economics*, 31, No. 6, 1999. – P. 687-659.
10. Stevenson A., Muscatelli V. and Gregory M. Macroeconomic theory and stabilization policy, Philip Allan, Oxford, 1988.
11. Ananov, A. 1995. 'New tendencies in employment during the transition to the market economy.' *Problems of Economic Transition*, 38, 7-29.
12. Basu, S., S. Estrin, and J. Svejnar. 1997. 'Employment and wage behaviour in industrial enterprises in transition economies: the cases of Poland and Czechoslovakia.' *Economics of Transition*, 5, 271-287.
13. Blanchard, O. 1994. 'Transition in Poland' *Economic Journal*, 104, 1169-1177.

14. Burda, M. C. 1997. 'Structural change and unemployment in Central and Eastern Europe: some key issues.' Discussion Paper No. 977, Centre for Economic Policy Research, London.
15. Roland, G. 1994. 'On the speed and sequencing of privatisation and restructuring.' *Economic Journal*, 104, 1158-1168.
16. Lipton, D. and J. Sachs 1990. 'Creating a market economy in Eastern Europe: the case of Poland'. *Brookings Papers on Economic Activity*, 75-133
17. Lane, T. D. 1992. 'Inflation stabilization and economic transformation in Poland: the first year'. In: *Carnegie-Rochester Series on Public Policy* (Ed. by Melzer, A. H., Plosser, C.). Amsterdam: North-Holland.
18. Layard, R., S. Nickell. and R. Jackman. 1991. *Unemployment. Macroeconomic performance and the labour market*. Oxford: Oxford University Press.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИК БЕЛАРУСИ, РОССИИ И УКРАИНЫ  
НА ОСНОВЕ МЕЖСТРАНОВОЙ МОДЕЛИ LAM ICM**

**В.В. Харемза, Ю.С. Харин, С.Б. Макарова, В.И. Малюгин,  
А.С. Гурин, Ю.В. Вымятина, Ю.В. Раскина, В.Н. Майковская**

**Аннотация**

Статья посвящена описанию результатов совместного эконометрического моделирования белорусской, российской и украинской экономик на основе межстрановой модели LAM ICM (*Inter-Country Model*). Модель LAM ICM – это первая версия модели из серии LAM (*Long-run Adjustment Model*), связывающая модели экономик трех стран Восточной Европы: Беларуси, России и Украины. Модель состоит из трех блоков, реализующих модели LAM-3 для экономик указанных стран, а также «межстранового» блока, связывающего эти экономики в общую модель посредством уравнений международной торговли. Основным назначением модели LAM ICM является проведение имитационных экспериментов, которые позволяют проанализировать, как шоки в экономике одной из стран через механизмы международной торговли влияют на функционирование всех трех экономик. Описываются принципы организации и построения межстрановой модели на основе специального программного обеспечения GIRAF ICM (*Guesstimation, Impulse Response Analysis and Forecasting for LAM ICM*). Обсуждаются результаты прогнозирования основных макроэкономических показателей, а также результаты имитационных экспериментов с LAM ICM.

**SIMULATION AND FORECASTING OF MACROECONOMIC VARIABLES  
FOR ECONOMIES OF RUSSIA, BELARUS AND UKRAINE  
BY LAM INTER-COUNTRY MODEL LAM ICM**

Wojciech W. Charemza, Yuriy S. Kharin, Svetlana B. Makarova, Vladimir I. Malugin,  
Aliaksandr S. Huryn, Yulia V. Vymyatnina, Julia V. Raskina, Victoria N. Majkowska

**Abstract**

The paper is devoted to the description of the results of joint econometric modeling of Belarusian, Russian and Ukrainian economies on the base of inter-country model LAM ICM (*Inter-Country Model*). LAM ICM is the first version of the series of LAM (*Long-run Adjustment Model*) models, which aggregates the models of the economies of three East European countries: Belarus, Russia and Ukraine. The model consists from three blocks realized the LAM-3 models of the economies of indicated countries, as well as ‘inter-country’ block linking these economies in joint model by means of international trade equations. The main object of LAM ICM is the conducting of the simulation experiments, which allow analyzing the shocks in economies of all three countries by means of international trade mechanism. The foundations of organization and construction of inter-country model on the base of the GIRAF ICM (*Guesstimation, Impulse Response Analysis and Forecasting for LAM ICM*) software are described. The results of forecasting of the main macroeconomic variables as well as the results of simulation experiments with LAM ICM are discussed.