

При ссылке на статью указывать:

Оленев Н.Н. Динамическая балансовая модель региональной экономики //Материалы IV международной научной конференции "Инновационное развитие и экономический рост". М.: РУДН, 2008. - С.282-292.

Web: <http://www.ccas.ru/olenev/OlenevRUDN2008.pdf>

**Динамическая балансовая модель региональной экономики**  
*Оленев Н.Н.*

В ходе инновационного процесса произведенные мировым научным сообществом знания преобразуются в технологии, продукты и услуги. Этот процесс в регионе осуществляется посредством региональной инновационной системы, т.е. комплекса созданных в регионе институтов, обеспечивающих трансфер (переток) технологий и знаний о них между организациями, предприятиями и людьми.

Как оценить инновационный потенциал региона? Надо проанализировать весь доступный статистический материал, структурировать его и сделать на основе этого анализа обоснованные выводы. Для анализа и структуризации статистического материала нужно исходить из какой-либо модели реальной действительности.

Имитационное моделирование экономики региона на основе балансовых соотношений – это самый простой способ математического моделирования региональной экономической системы. При построении и идентификации имитационной модели решаются задачи анализа и структуризации исходных данных в соответствии со структурой модели, так что по ходу построения модели решается задача выбора и системного анализа исходных статистических данных. Сверх того, построенную имитационную модель можно использовать для проверки тех или иных сценариев возможного развития инновационной системы региона на основе численных экспериментов с моделью. В отличие от выводов сделанных наобум выводы и предсказания, полученные с помощью имитационной модели, в принципе могут быть

экспериментально опровергнуты, а гипотезы, на которых основана модель, могут быть обоснованно оспорены. Это дает возможность в дальнейшем модифицировать модель и на постоянно совершенствующейся модели получать более обоснованные предсказания и делать более обоснованные аналитические выводы.

Имитационная модель исследования инновационного потенциала региона основана на системном анализе региональных социально-экономических процессов и структур. Социально-экономическая система состоит из множества взаимосвязанных разнородных элементов, участвующих в разнообразных процессах, которые вызывают изменение состава элементов и структуры связей. Экономика региона представляется огромным калейдоскопом технологий, продуктов и услуг, образующих изменчивую мозаику [1]. Сложившиеся методы описания состояния и эволюции экономики используют немногочисленный набор макропоказателей, величины которых меняются сравнительно плавно, а их список остается неизменным. Макропоказатели получают последовательным агрегированием исходных микропоказателей, что эмпирически выявляет отраслевую структуру экономики и структуру потребительского спроса. В структуре проявляется сложившаяся конфигурация связей элементов региональной экономической системы в процессе воспроизводства.

Следующей проблемой является выбор переменных, адекватно отображающих структуру региональной экономики. Допустим, воспользовавшись существующими эмпирическими данными мы выбрали существующий набор продуктов, услуг, технологий, отраслей, потребителей и т.п. Однако, при развертывании инновационного процесса связи могут так поменяться, что перечень изменится.

Важной проблемой при создании имитационной модели экономики региона является адекватное описание инновационных процессов. Невозможно описать детально все возможные процессы, возникает проблема типологизации и математического описания типовых производственных процессов. Процесс технологических нововведений сильно связан с социальными

процессами и механизмами экономического регулирования производственных процессов. Инновации требуют предпринимательских усилий множества людей, которые надо поддерживать, готовить соответствующие кадры.

Существует также проблема описания процессов выбытия и создания новых средств производства. Этот процесс на прогнозный период времени невозможно оценить адекватно по текущему набору статистических данных, поскольку в переходный период экономика региона, как и всей федерации, попала в условия отчаянно низкого уровня нововведений и стремительного старения производственных фондов, которые выбывают только в результате физического износа.

Еще одной важной является проблема открытости региона. Внешние связи региона с другими субъектами Российской Федерации и за границей оказывают существенное влияние на поведение экономических агентов региона.

В качестве основы при построении имитационной модели возьмем трехсекторный вариант модели общего равновесия с запасами продуктов, факторов производства и денег при налогообложении и наличии теневого оборота [2]. Динамика материальных и финансовых балансов в модели задана изменением запасов продуктов, факторов производства и денег. Выделены следующие экономические агенты: Правительство, Производители, Банковская система, Домашние хозяйства, Внешние потребители и поставщики.

Первый вариант модель был разработан с целью оценки инновационного потенциала Кировской области, и он является прототипом многосекторной имитационной модели российского региона, предназначенной для анализа различных сценариев экономического развития. Производители в модели экономики Кировской области представлены тремя секторами: (1) лесопромышленный комплекс, включающий лесное хозяйство (2) комплекс новых отраслей в биотехнологии и химии, включающий науку, образование, инновационные отрасли (3) объединение оставшихся отраслей.

Многосекторные нормативные модели региональной экономики содержат огромное число неизвестных параметров,

поэтому практически не используются, поскольку для проведения осмысленных качественных и количественных расчетов на них необходимо провести идентификацию их внешних параметров, а большую часть параметров невозможно оценить напрямую из данных экономической статистики. Здесь предложена новая технология идентификации внешних параметров модели, основанная на использовании высокоскоростных параллельных вычислениях на многопроцессорной системе [3]. Для идентификации параметров сравниваются полученные при расчетах на модели временные ряды макропоказателей экономики региона с соответствующими статистическими временными рядами. В качестве критериев близости использован индекс несовпадения Тейла и построенный на основе вейвлет коэффициентов критерий похожести нелинейных временных рядов [4]. При построении и идентификации имитационной модели решаются задачи анализа и структуризации исходных данных в соответствии со структурой модели, так что по ходу построения модели решается задача выбора и системного анализа исходных статистических данных. В отличие от выводов сделанных наобум выводы и предсказания, полученные с помощью сценарных расчетов на имитационной модели, в принципе могут быть экспериментально опровергнуты, а гипотезы, на которых основана модель, могут быть обоснованно оспорены. Это дает возможность в дальнейшем модифицировать модель и на постоянно совершенствующейся модели получать более обоснованные предсказания и делать более обоснованные аналитические выводы.

Производители (сектора региональной экономики  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), используют в производстве труд, капитал и промежуточную продукцию смежных секторов. Производители поставляют продукцию на внутренние рынки и внешний рынок. Домашние хозяйства  $L$  предлагают труд и потребляют конечную продукцию. Торговый посредник  $T$  занят перераспределением материальных и финансовых потоков. Банковская система  $B$  выдает кредиты производителям с целью извлечения банковской прибыли. Правительство региона  $G$  собирает налоги с производителей и домашних хозяйств и регулирует расходы бюджета. Считаем, что

свои цены формируются на каждом рынке каждой продукции и изменение цен обратно пропорционально изменению запасов соответствующих продуктов.

Для учета теневого оборота предполагаем, что произведенный продукт производители делят на легальный и теневой, который не облагается налогами. В результате у производителя оказывается два вида денег – «белые» и «черные». «Черные» деньги могут отмываться, а запас неотмытых денег подвергается штрафным санкциям. У потребителя все деньги считаются «белыми», а свой доход потребитель делит по заданным нормам потребления легальных и теневых продуктов всех секторов. Производственные сектора  $m = X, Y, Z$  платят налог на прибыль  $n_1$ , налог на добавленную стоимость  $n_2$ , акцизы на валовой выпуск  $n_3^m$ , единый социальный налог на фонд заработной платы  $n_4$ , таможенные платежи на экспорт  $n_5$ . Домашние хозяйства  $L$  в модели оплачивают таможенные платежи с импорта  $n_6$ , подоходный налог с зарплаты  $n_7$ .

Показатели и параметры модели снабжены верхними и нижними индексами, причем верхние индексы используются для агентов, а нижние для благ. Считаем, что распределение запаса каждого блага производится по нормативу:  $a_i^{nm}$  – доля запаса блага  $i$ , идущая от агента  $n$  к агенту  $m$ . Считаем, что распределение денег производится также по некоторому нормативу:  $b_i^{nm}$  – доля запаса денег агента  $m$ , идущая агенту  $n$  за продукт  $i$ . Коэффициенты фондоемкости также задаются нормативами:  $c_i^m$  – норма затрат продукта  $i$  на создание единицы фондообразующего продукта агента  $m$ . Параметры производственных функций секторов заданы константами. Например, выпуск  $Y^X$  продукта  $X$  экономическим агентом  $X$  (лесопромышленным комплексом Кировской области, сектором  $X$ ) описан степенной производственной функцией от используемых факторов производства (запасов  $Q$ ): труда  $L$ , капитала  $K$  и промежуточных продуктов из секторов  $Y$  и  $Z$ .

$$Y_X = \left( \overset{X}{Q}_L^X \overset{X}{Q}_L^X \right)^{\delta_L^X} \cdot \left( \overset{X}{Q}_K^X \overset{X}{Q}_K^X \right)^{\delta_K^X} \cdot (a_Y^X \overset{X}{Q}_Y^X)^{\delta_Y^X} \cdot (a_Z^X \overset{X}{Q}_Z^X)^{\delta_Z^X},$$

где  $\delta_L^X + \delta_K^X + \delta_Y^X + \delta_Z^X = 1$ ; а остальные параметры принадлежат интервалу  $(0, 1)$ .

Производство открытого  $X$  и теневого  $V$  продуктов агент  $X$  осуществляет на общих фондах и общих трудовых ресурсах. Доля тени  $q_X$  в общем выпуске определяет прирост запасов открытого  $\overset{X}{Q}_X^X$  и теневого  $\overset{X}{Q}_V^X$  продуктов.

$$\frac{d\overset{X}{Q}_X^X}{dt} = \left( -q_X \overset{X}{Y}_X - (a_X^{XL} + a_X^{XY} + a_X^{XZ} + a_X^{XO}) \overset{X}{Q}_X^X - c_X^X I_X, \right.$$

$$I_X = \frac{b_K^X W^X}{p_X^X c_X^X + p_Y^X c_Y^X + p_Z^X c_Z^X},$$

$$\frac{d\overset{X}{Q}_V^X}{dt} = q_X Y_X - \left( a_V^{XL} + a_V^{XY} + a_V^{XZ} \right) \overset{X}{Q}_V^X.$$

Изменение запасов открытых («белых»)  $W^X$  и скрытых («черных»)  $B^X$  денежных средств у агента  $X$  также описывается балансовыми соотношениями.

$$\begin{aligned} \frac{dW^X}{dt} = & w p_X^O X_X^{XO} + C^{BX} + \left( \overset{L}{a}_X^L a_X^{XL} + p_X^Y a_X^{XY} + p_X^Z a_X^{XZ} \right) \overset{X}{Q}_X^X - \\ & - \left( \overset{XY}{b}_Y + b_Z^{XZ} + b_W^{XY} + b_U^{XZ} + b_L^{XL} + b_H^{XB} \right) \overset{X}{W}^X - \\ & - T^{XG} + T^{GX} + b_B^X B^X, \end{aligned}$$

$$\frac{dB^X}{dt} = p_V^L a_V^{XL} + p_V^Y a_V^{XY} + p_V^Z a_V^{XZ} Q_V^X - b_B^{XL} + b_B^X + b_B^{XG} B^X$$

Здесь  $w(t)$  – рублевый курс доллара,  $p_i^m \widehat{\mathcal{C}}$  – индексы цен на продукт  $i$  на рынке для агента  $m$  (в случае внешнего рынка  $O$  в модели используется долларовый индекс цен),  $T^{GX} \widehat{\mathcal{C}}$  – трансферты из бюджета,  $T^{XG} \widehat{\mathcal{C}}$  – налоговые отчисления в консолидированный бюджет,  $C^{BX} \widehat{\mathcal{C}}$  – объем новых кредитов,  $b_B^X B^X$  – поступления «отмытых» денег из теневого оборота.

Изменение запаса  $Q_X^L \widehat{\mathcal{C}}$  конечного продукта  $X$  лесопромышленного комплекса Кировской области, предназначенного агенту  $L$  (домашним хозяйствам области), у посредника  $T$  определяет изменение индекса потребительских цен  $p_X^L \widehat{\mathcal{C}}$  на продукцию  $X$  лесопромышленного комплекса.

$$\begin{aligned} \frac{dQ_X^L}{dt} &= a_X^{XL} Q_X^X - \frac{b_X^{LX} W^L}{p_X^L}, \\ \frac{dp_X^L}{dt} &= \alpha_X^L \left( \frac{b_X^{LX} W^L}{p_X^L} - a_X^{XL} Q_X^X \right). \end{aligned}$$

Считаем, что рост открытой  $s_L^X \widehat{\mathcal{C}}$  и теневой  $s_B^X \widehat{\mathcal{C}}$  ставок заработной платы в секторе  $X$  может происходить как при нехватке кадров, так и при росте потребительских цен на продукцию сектора. Например, открытая ставка зарплаты

$$\frac{ds_L^X}{dt} = \left[ \alpha_L^X \left( \frac{b_L^{XL} W^X}{s_L^X} - a_L^{LX} Q_L^{LX} \right) + \frac{\beta_L^X s_L^X}{p_X^L} \left( \frac{b_X^{LX} W^L}{p_X^L} - a_X^{XL} Q_X^X \right) \right]_{+} ..$$

где  $\beta_L^X = \delta \alpha_X^L$  и используется обозначение:  $X_+ = X$ , если  $X > 0$  и  $X_+ = 0$ , если  $X \leq 0$ . Считаем, что доля прироста цен, отражающаяся на росте заработной платы,  $\delta \in (0, 1]$ .

Общее число уравнений в модели около 100, число параметров более 80.

Большое количество неопределяемых напрямую из статистики параметров модели определяем косвенным образом, сравнивая выходные временные ряды переменных модели с доступными статистическими временными рядами 1999 – 2006 гг. Временные ряды считаются похожими, если они близки как функции времени (другими словами, между значениями временных рядов существует сильная, возможно нелинейная, связь). Мера близости временных рядов рассчитывается на основе спектральных характеристик временного ряда. Причем эти характеристики робастны по отношению к наличию тренда, изменениям в уровне и масштабе ряда. В качестве критериев близости расчетного и статистического временных рядов используем коэффициент близости [4], построенный на основе вейвлет коэффициентов  $D_2(X, Y) = 1 - \cos \alpha$ , и индекс несовпадения Тэйла  $U(X, Y) \in [0, 1]$ . В качестве вейвлет и масштабных фильтров использовались фильтры Добеши.

Коэффициент близости является мерой силы и направленности связи между сравниваемыми временными рядами и, чем он ближе к +1, тем более схоже поведение этих рядов. Индекс Тэйла  $U(X, Y)$  измеряет несовпадение временных рядов  $X$  и  $Y$  и чем ближе он к нулю, тем ближе сравниваемые ряды.

Декомпозиция модели на отдельные блоки дает возможность за разумное время определить независимые параметры благодаря параллельным вычислениям для перебора параметров модели на заданных интервалах их изменения с последовательно уменьшающимся интервалом изменения параметров.

Для однозначности выбора оптимального варианта можно использовать ту или иную свертку коэффициентов близости и индексов Тэйла, например, если подгонка расчетных и

статистических данных для всех макропоказателей имеет примерно равную важность, можно максимизировать отношение среднегеометрической близости к среднегеометрическому коэффициенту Тэйла.

При этом следует перебирать только те варианты значений параметров, при которых коэффициенты близости выше некоторой заданной положительной величины, а индексы Тейла - ниже [4].

Численные эксперименты с моделью проводились, чтобы найти работоспособный вариант, качественно верно отражающий процессы, происходящие в экономике Кировской области. Численные эксперименты (рис.1) показали работоспособность полной модели и отдельных ее частей [2]. Это значит, что модель может использоваться в дальнейшей работе. Внешние параметры этого варианта можно взять за основу для более точной идентификации модели в будущем, а сам вариант использовать как базовый при проведении качественных сценарных расчетов.

Критерием качества идентификации параметров модели является количественное соответствие основных макроэкономических показателей статистическим показателям экономики региона за период с начала 1999 года и до конца 2006 г. При этом все реальные показатели можно выразить в постоянных ценах 2000 г. Решение системы может быть получено с привлечением современных вычислительных и программных средств.

Изменения в сценарном расчете по сравнению с базовым сценарием будем представлять вариацией изменения макропоказателей, выраженной в процентах. Если  $F(t)$  – значение некоторого макропоказателя в момент времени  $t$  в базовом сценарии, а  $S(t)$  – значение этого же макропоказателя в текущем сценарии, то вариация  $V(t)$  изменения макропоказателя  $V(t) = 100\% \cdot S(t)/F(t) - 1$ .

В сценарии 1 предполагается, что с 2007 года происходит увеличение трансфертов консолидированного бюджета Кировской области в сектор биотехнологий на поддержку инноваций. Но при этом структура расходов отрасли биотехнологий остается

неизменной. А именно, пусть бюджетные трансферты в сектор биотехнологий возрастут с 2% до 22% консолидированного бюджета. Реальные трансферты в сектор биотехнологий  $Y$  в сценарии 1 увеличиваются немногим более чем в восемь раз в сравнении с базовым сценарием, инвестиции сектора  $Y$  возрастают на 50%, выпуск сектора через 40 лет увеличивается на треть в сравнении с базовым вариантом. Прирост выпуска приводит к росту объемов продаж и по всем каналам. При этом запас «белых» денег прирастает в два раза, а «черных» увеличивается на треть. Однако, при этом ставки заработной платы снижаются до 5%, а прирост «черных» денег в секторах  $X$  и  $Z$  увеличивается до 10%. Изменение структуры цен, сопровождающееся уменьшением уровня потребительских цен и ставок заработной платы, приводит падению номинальных доходов консолидированного бюджета от налогообложения секторов  $Y$  и  $Z$ , при малом росте поступлений от сектора  $X$ .

В сценарии 2 предполагается, что в результате административных мер начиная с 2008 года на 20% уменьшились поставки по легальным каналам продукции смежных отраслей, при этом производственная структура секторов осталась неизменной. В результате объемы выпуска изменились незначительно: выпуски секторов  $X$  и  $Y$  выросли, а выпуск сектора  $Z$  упал. Производственные фонды секторов немного выросли, цены на легальную продукцию изменились с разной степенью в сторону повышения, а на теневую – выросли все примерно на один уровень. Теневые ставки заработной платы поднялись, а легальные слегка опустились. Запасы денежных средств у всех агентов увеличиваются. В соответствии с ростом цен слегка увеличиваются и номинальные налоговые поступления, но уровень жизни занятых в легальном секторе снизился.

В оптимистическом сценарии 3 в результате мер по поддержке инновационных процессов по трансферу технологий в 2010 году произошло увеличение отдачи от всех факторов производства на 5%. Тогда выпуск лесопромышленного комплекса  $X$  удваивается через 4 года, а секторов биотехнологии  $Y$  и прочих отраслей  $Z$  через 15 лет. При этом, несмотря на рост производительности труда, немного возрастает занятость в

секторах экономики. Значительно увеличивается объем производственных фондов. Индексы цен меняются разнонаправлено: в секторе X индексы цен на продукцию, реализуемую по легальным каналам падают, а по теневым каналам растут; в секторах Y и Z все индексы цен растут. Все ставки заработной платы растут, за исключением легальной ставки сектора X лесопромышленного комплекса Кировской области. Запасы денег у всех экономических агентов возрастают, инвестиции секторов возрастают, доходы бюджета и домашних хозяйств возрастают.

Построенную в работе модель и опыт ее идентификации и эксплуатации можно использовать в исследовании других региональных экономик. В частности, в [5] модель применялась для исследования последствий экономической интеграции. В [6] исследуется влияние теневого оборота на социально-экономическое положение Республики Алтай.

Оказалось, что поведение макропоказателей региональной экономики существенно зависит от политики, проводимой Правительством региона. При административном зажимании экономической активности, экономическая деятельность уходит в тень, увеличивается инфляция. При осуществлении задуманной политики повышения производительности факторов производства за счет инновационной деятельности выпуск продукции и доходы всех агентов растут, однако, наличие теневой составляющей в производстве сохраняет высокие темпы инфляции.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №№ 08-01-00377, 07-01-00563, 07-01-12032-офи), РГНФ (проект № 08-02-61201 а/Т), гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ (проект № НШ-2982. 2008.1), программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 15, РАН № 16, ОМН РАН № 3.

#### Список литературы:

1. Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А. Концепция математического обеспечения оценки последствий

- крупных экономических проектов. – М.: ВЦ АН СССР. – 1990. – 44 с.
2. Оленев Н.Н. Модель оценки инновационного потенциала региональной экономики – Экономика депрессивных регионов: Проблемы и перспективы развития региональных экономик: Тр. межд. научно-практ. конф. / Под ред. Беляева В.И., Дубины И.Н., Мамченко О.П. Барнаул: АлтГУ. – 2007. – С.178-188.
  3. Оленев Н.Н. Основы параллельного программирования в системе MPI. – М.: ВЦ РАН. – 2005. – 80 с.
  4. Бурнаев Е.В., Оленев Н.Н. Меры близости на основе вейвлет коэффициентов для сравнения статистических и расчетных временных рядов – Межвуз. сб. тр. за 2005 г. (Вып.10). Киров: ВятГУ. – 2006. – С. 41-51.
  5. Olenev N.N. A Normative Balance Dynamic Model of Regional Economy for Study Economic Integrations – Economic integration, competition and cooperation. 6th International Conference.. Opatija - Croatia: University of Rijeka (CD-Book: Session 6). – April 2007. – 15 p.
  6. Оленев Н.Н., Стародубцева В.С. Исследование влияния теневого оборота на социально-экономическое положение в Республике Алтай – Региональная экономика: теория и практика. № 11 (68) – 2008 апрель. – С.32-37