

КОНЦЕПЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА

Оленев Н.Н., Шатров А.В.

1. Обоснование концепции, основные типы инновационных систем

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 (например, центров трансфера технологий), обеспечивающих трансфер (переток) технологий и знаний о них между организациями, предприятиями и людьми. Инновация - это результат сложных отношений между субъектами инновационного процесса, в результате которых научная идея превращается в технологию или продукт. Кратко рассмотрим некоторые известные типы инновационных систем.

а) *Государственная.* В советское время заказ и организацию всего инновационного цикла осуществляло государство. Крупные экономические проекты, такие как программа индустриализации и космическая программа стимулировали технологические изменения в производстве, однако предпринимательская инициатива частного сектора подавлялась.

б) *Смешанная система производства и внедрения знаний.* Производство знаний в развитых странах - это, в основном, прерогатива государства, в то время как инновационный процесс, как правило, осуществляется за счет предпринимательской инициативы частного сектора. За счет отлаженной системы трансфера технологий здесь крупные проекты способствуют крупным сдвигам в используемых технологиях, а инициатива предпринимателей способствует эволюционным усовершенствованиям.

в) *Имитационная.* Ряд развивающихся стран, например, Япония и Южная Корея в послевоенные годы, довольно значительное время потребляли технические знания, произведенные за рубежом, закупая лицензии, и только на более позднем этапе начали организовывать производство знаний в своих странах. Такая система пригодна для страны или региона, которые догоняют лидера.

г) *Создания спроса на знания.* Если государство или регион стремится стать лидером в той или иной области техники или сохранить лидирующие позиции, они начинают сами производить знания в данной области. Лидирующую позицию обеспечивает значительное сокращение инновационного цикла от создания знания до его использования за счет

объединения усилий ученых и технологов. Малые предприятия в науке и технологии могут стать новыми потребителями знаний, поскольку они очень динамичны, предприимчивы, требуют малых капиталовложений, могут легко взяться за реализацию новых рискованных идей. Важно, что малый бизнес - массовый, т.е. ему нужно много разных идей. Наконец, в малом бизнесе очень часто именно производитель знания становится участником инновационного превращения своей идеи в товар, т.е. в малом бизнесе кратчайший инновационный цикл.

Из этих рассмотрений видно, что инновационный процесс сложен, государственную поддержку этого процесса расплывать нельзя. Начинать нужно с создания спроса на знания, для этого надо определить приоритеты и создать центры трансфера технологий. Для решения этой задачи необходимо провести исследование инновационного потенциала региона.

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.

Математические модели экономических систем используются в конечном счете для прогноза развития экономических процессов во времени и состояния, в котором будет находиться экономика, свойств изучаемой экономической системы при выполнении определенных условий. Как отмечает Ю.Н. Павловский в [1] для практического получения прогноза недостаточно составить модель. Необходимо разработать и реализовать программу расчета интересующих характеристик изучаемого экономического процесса (в нашем случае инновационного потенциала региона), идентифицировать модель, т.е. определить содержащиеся в ней внешние величины (коэффициенты, параметры, факторы), верифицировать модель, т.е. убедиться, что модель дает практически приемлемые прогнозы. Согласно Т. Нейлору [2] имитационное моделирование – это «численный метод проведения на цифровых вычислительных машинах экспериментов с математическими моделями, описывающими поведение сложных систем в течение продолжительных периодов времени».

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.

2. Узловые проблемы создания и использования имитационной модели для исследования инновационного потенциала региона

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 [3]. Сложившиеся методы описания состояния и эволюции экономики используют немногочисленный набор макропоказателей, величины которых меняются сравнительно плавно, а список которых 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. Если характер воспроизводства связей нарушается, то должна измениться и структура, чтобы она адекватно описывала состояние экономики.

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. Эта проблема вытекает из общей проблемы агрегирования описания социально-экономических процессов и структур.

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. Математические продвижения в этой проблеме невелики, поэтому имитация инновационных процессов – это центральное место в имитационной модели региона.

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. Поэтому в первом варианте имитационной модели описание инвестиционной политики фирм [4-5] учесть не удастся.

Еще одной важной является проблема описания потребительского спроса. Динамика потребительского спроса коррелирует с изменениями в трудовом поведении, в демографическом поведении и миграционном поведении. Проблема описания этих процессов чрезвычайно сложна и для замыкания модели придется вводить некую имитацию реальных процессов.

И последней из упоминаемых, но не по важности, является проблема открытости региона. Внешние связи региона с другими субъектами Российской Федерации и за границей оказывают существенное влияние на поведение экономических агентов региона.

3. Имитационная модель экономики 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 [6]. В качестве экономических агентов α выделим три сектора производства ($\alpha = X, Y, Z$), домашние хозяйства ($\alpha = L$), торгового посредника ($\alpha = T$), региональную банковскую систему ($\alpha = B$), и Правительство региона (консолидированный бюджет региона) ($\alpha = G$). Производители (сектора региональной экономики), используют в производстве труд, капитал и промежуточную продукцию. Производители поставляют продукцию на внутренний рынок, внешний рынок, а также на рынок промежуточной продукции. Домашние хозяйства предлагают труд и потребляют конечную продукцию. Торговый посредник занят

перераспределением материальных и финансовых потоков. Банковская система выпускает денежные средства, выдает кредиты производителям с целью извлечения банковской прибыли. Правительство региона собирает налоги (подходный налог n_7 с домашних хозяйств; единый социальный налог n_4 , налог на прибыль n_1 , налог на добавленную стоимость n_2 и акцизы n_3 с производителей). Считаем, что свои цены формируются на каждом рынке каждой продукции и изменение цен обратно пропорционально изменению запасов соответствующих продуктов.

Для учета реального положения дел, мы 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 – «налогообложению» теневого сектора. У потребителя все деньги считаются «белыми», а свой доход потребитель делит по заданным нормам потребления легальных и теневых продуктов всех секторов.

В результате будет создана вычислимая математическая модель – система равенств и дифференциальных уравнений, описывающая динамику изменения экономических показателей для системы. В пределе в данной системе устанавливается равновесие, поэтому она может быть отнесена к классу CGE моделей.

Критерием качества идентификации параметров модели является количественное соответствие основных макроэкономических показателей статистическим показателям экономики региона за период с начала 1999 года и до конца 2005 года. При этом все реальные показатели можно выразить в постоянных ценах 2000 года. Решение системы может быть получено с привлечением современных вычислительных и программных средств.

Большое количество неизвестных из статистики параметров вычислимой модели определяем косвенным образом, сравнивая выходные временные ряды переменных модели с доступными статистическими временными рядами. В качестве критериев близости расчетного и статистического временных рядов используем коэффициент близости, построенный на основе вейвлет коэффициентов[7], и индекс несовпадения Тэйла.

Работа выполнена в рамках госзаказа РИ-24/006 «Исследование инновационного потенциала Кировской области с целью создания и развития центров трансфера технологий». Работа частично поддержана РФФИ (код проекта 04-07-90346).

Литература

1. Павловский Ю.Н. Имитационные модели и системы. – М.: ФАЗИС: ВЦ РАН, 2000. 134 с.
2. Нейлор Т., Ботон Дж., Бердак Д. и др. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. – М.: Мир, 1975. 500 с.
3. Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А. Концепция математического обеспечения оценки последствий крупных экономических проектов. – М.: ВЦ АН СССР, 1990. 44 с.
4. Оленев Н.Н., Поспелов И.Г. Модель инвестиционной политики фирм в экономической системе рыночного типа Математическое моделирование: Процессы в сложных экономических и экологических системах. М.: Наука, 1986. С.163-173.
5. Оленев Н.Н., Поспелов И.Г. Исследование инвестиционной политики фирм в экономической системе рыночного типа // Математическое моделирование: Методы описания и исследования сложных систем.-М.: Наука,1989. С.175-200
6. Оленев Н.Н., Поспелов И.Г., Стариков А.С. Опыт идентификации вычислимой модели экономики. Труды XLVII научной конференции МФТИ. 2004. Ч.VII. С.171-172.
7. Бурнаев Е.В., Оленев Н.Н. Меры близости для временных рядов на основе вейвлет коэффициентов// Труды XLVIII научной конференции МФТИ. 2005. Ч.VII. С.108-110.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Двухсекторная расчетная модель общего равновесия с запасами продуктов, факторов производства и денег при налогообложении и наличии теневого оборота

Замечание:

Используется своя нумерация формул для каждого агента: при ссылке, например, на формулу (3) агента В указываем (В.3).

Обозначения:

Нижний индекс для 4 благ:

2-х продуктов $i = X, Y$ и

2 факторов производства – труда L и капитала K .

Верхний индекс для 7 агентов:

3-х производителей благ $n = X, Y, L$,

торгового посредника $n = T$,

банковской системы (Центрального банка) $n=B$,

правительства (консолидированного бюджета) $n=G$,
внешний рынок $n=O$.

Дележ благ по нормативу:

a_i^{nm} - доля запаса блага i агента n , идущая к агенту m ($a_i^{nm} = a_i^n$)

Дележ денег по нормативу:

b_i^{mn} - доля запаса денег агента m , идущая агенту n за продукт i ($b_i^{mn} = b_i^n$)

Коэффициенты фондоемкости:

c_i^m - норма затрат продукта i на создание единицы фондообразующего продукта агента m

Налоги платят

сектора $i = X, Y$:

n_1 - на прибыль,

n_2 - НДС,

n_3^i - акцизы на валовой выпуск (зависят от отрасли i),

n_4 - ЕСН на зарплату,

n_5 - таможенные платежи на экспорт

L:

n_6 - таможенные платежи на импорт

n_7 - подоходный налог на зарплату

2. Агенты

Агент X (сектор X)

Выпуск продукта - функция типа Кобба-Дугласа от труда, капитала и промежуточного продукта

$$(1) \quad Y_X = f_X(a_L^X Q_L^X, Q_K^X, a_Y^X Q_Y^X) = (a_L^X Q_L^X)^{\alpha_X} \cdot (Q_K^X)^{\beta_X} \cdot (a_Y^X Q_Y^X)^{\gamma_X},$$

где $\alpha_X + \beta_X + \gamma_X = 1$.

Производство открытого X и теневого V продукта агента X осуществляется на общих фондах, общих трудовых ресурсах и общих запасах промежуточной продукции, а произведенная продукция (выпуск) Y_X делится в заданной пропорции $(1 - q_X) : q_X$ на открытый (белый) выпуск и теневой (черный) выпуск, где q_X - доля тени в общем выпуске продукта Y_X . Теневой продукт используется для продажи населению и другим секторам. Предполагаем, что экспорт и инвестиции могут быть только легальными.

Запас своего открытого продукта Q_X^X растет за счет выпуска и убывает за счет отгрузки агентам Y, L (отгружает посреднику, сколько выделил) и себе для инвестиций I_X . Считаем, что расходы на освоение инвестиций от своего

продукта совпадают с доходами от них (инвестиции в себя не учитываем в валовом выпуске). На экспорт идет заданная доля запаса своего продукта X_X^{XO} .

$$(2) \quad \frac{dQ_X^X}{dt} = (1 - q_X)Y_X - (a_X^{XL} + a_X^{XY} + a_X^{XO})Q_X^X - c_X^X I_X,$$

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

$$p_X^X = \min_Y p_X^Y,$$

$$X_X^{XO} = a_X^{XO} Q_X^X.$$

Запас продукта Y у агента X растет за счет покупки открытого продукта у агента Y по цене p_Y^X и теневого продукта у агента Y по цене p_U^X и убывает за счет использования его в производстве в качестве сырья и инвестиций

$$(3) \quad \frac{dQ_Y^X}{dt} = \frac{b_Y^{XY} W^X}{p_Y^X} + \frac{b_U^{XY} W^X}{p_U^X} - a_Y^X Q_Y^X - c_Y^X I_X.$$

Запас труда в секторе X прирастает за счет покупки у агента L по официальной ставке заработной платы s_L^X и теневой ставке s_L^V и убывает в силу спроса на труд агента X

$$(4) \quad \frac{dQ_L^X}{dt} = \frac{b_L^{XL} W^X}{s_L^X} + \frac{b_V^{XL} B^X}{s_L^V} - a_L^X Q_L^X$$

Запас капитала в секторе X прирастает за счет инвестиций I_X и убывает в силу амортизации капитала у агента X

$$(5) \quad \frac{dQ_K^X}{dt} = (p_X^X c_X^X + p_Y^X c_Y^X) I_X - \mu_K^X Q_K^X$$

Считаем, что агент X берет весь предлагаемый кредит, однако объем предоставляемого кредита ограничен ликвидационной стоимостью производственных фондов, которая считается пропорциональной запасу капитала.

$$(6) \quad C^{BX} = \sigma^X Q_K^X, \quad \sigma^X > 0.$$

Задолженность агента X банковской системе Z^X

$$(7) \quad \frac{dZ^X}{dt} = C^{BX} + rZ^X - H^{XB}, \quad H^{XB} = b_Z^{XB} W^X$$

Запас денег у агента X прирастает при поступлении кредитов, при продаже товара на внешнем рынке и на внутренних рынках, за счет трансфертов из бюджета и поступлений отмытых денег из теневого оборота. Он уменьшается при оплате труда L, промежуточного потребления Y, платежах погашения кредитов и перечислениях налогов в консолидированный бюджет.

$$(8) \quad \frac{dW^X}{dt} = wp_X^O X_X^{XO} + C^{BX} + (p_X^L a_X^{XL} + p_X^Y a_X^{XY}) Q_X^X - (b_Y^{XY} + b_U^{XY} + b_L^{XL} + b_Z^{XB}) W^X - T^{XG} + T^{GX} + b_V^X B^X,$$

где w – курс доллара, а трансфертные платежи в консолидированный бюджет равны сумме налоговых отчислений минус трансферты из бюджета T^{GX} (возврат НДС + субсидии и пр.)

(9) $T^{XG} = T_1^{XG} + T_2^{XG} + T_3^{XG} + T_4^{XG} + T_5^{XG}$, отчисления в консолидированный бюджет

$$T_5^{XG} = n_5 w p_X^O X_X^{XO} \quad \text{таможенные платежи на экспорт}$$

$$T_4^{XG} = n_4 b_L^{XL} W^X, \quad \text{ЕСН}$$

$$T_3^{XG} = n_3^X \left[wp_X^O X_X^{XO} + (p_X^L a_X^{XL} + p_X^Y a_X^{XY}) Q_X^X \right], \quad \text{акцизы}$$

$$T_2^{XG} = n_2 \left(wp_X^O X_X^{XO} + (p_X^L a_X^{XL} + p_X^Y a_X^{XY}) Q_X^X - (b_Y^{XY} + b_Z^{XB}) W^X - T_3^{XG} - T_4^{XG} - T_5^{XG} \right),$$

$$T_1^{XG} = n_1 \left(wp_X^O X_X^{XO} + (p_X^L a_X^{XL} + p_X^Y a_X^{XY}) Q_X^X - (b_Y^{XY} + b_L^{XL} + b_Z^{XB}) W^X - T_2^{XG} - T_3^{XG} - T_4^{XG} - T_5^{XG} \right). \quad \text{НДС}$$

налог на прибыль

Запас теневого продукта Q_V^X

$$(10) \quad \frac{dQ_V^X}{dt} = q_X Y_X - (a_V^{XL} + a_V^{XY}) Q_V^X$$

Запас теневого денег прирастает при продаже теневого продукта как конечного населению L и как промежуточного другому сектору Y, часть b_V^X запаса теневого денег успевают отмыть, часть b_V^{XG} попадает в качестве

штрафных санкций в доходную часть консолидированного бюджета правительства, а часть b_V^{XL} поступает населению в качестве теневых доходов

$$(11) \quad \frac{dB^X}{dt} = (p_V^L a_V^{XL} + p_V^Y a_V^{XY}) Q_V^X - (b_V^{XL} + b_V^X + b_V^{XG}) B^X$$

Агент Y

$$(1) \quad Y_Y = f_Y(a_L^Y Q_L^Y, Q_K^Y, a_X^Y Q_X^Y) = (a_L^Y Q_L^Y)^{\alpha_Y} \cdot (Q_K^Y)^{\beta_Y} \cdot (a_X^Y Q_X^Y)^{\gamma_Y}.$$

$$(2) \quad \frac{dQ_Y^Y}{dt} = (1 - q_Y) Y_Y - (a_Y^{YL} + a_Y^{YX} + a_Y^{YO}) Q_Y^Y - c_Y^Y I_Y,$$

$$I_Y = \frac{b_K^{YK} W^Y}{p_Y^Y c_Y^Y + p_X^Y c_X^Y},$$

$$p_Y^Y = \min_X p_Y^X,$$

$$X_Y^{YO} = a_Y^{YO} Q_Y^Y.$$

$$(3) \quad \frac{dQ_X^Y}{dt} = \frac{b_X^{YX} W^Y}{p_X^Y} + \frac{b_V^{YX} W^Y}{p_V^Y} - a_X^Y Q_X^Y - c_X^Y I_Y.$$

$$(4) \quad \frac{dQ_L^Y}{dt} = \frac{b_L^{YL} W^Y}{s_L^Y} + \frac{b_U^{YL} B^Y}{s_L^U} - a_L^Y Q_L^Y$$

$$(5) \quad \frac{dQ_K^Y}{dt} = (p_Y^Y c_Y^Y + p_X^Y c_X^Y) I_Y - \mu_K^Y Q_K^Y$$

$$(6) \quad C^{BY} = \sigma^Y Q_K^Y, \quad \sigma^Y > 0.$$

$$(7) \quad \frac{dZ^Y}{dt} = C^{BY} + rZ^Y - H^{YB}, \quad H^{YB} = b_Z^{YB} W^Y$$

$$(8) \quad \frac{dW^Y}{dt} = w p_Y^O X_Y^{YO} + C^{BY} + (p_Y^L a_Y^{YL} + p_Y^X a_Y^{YX}) Q_Y^Y - (b_X^{YX} + b_V^{YX} + b_L^{YL} + b_Z^{XB}) W^Y - T^{YG} + T^{GY} + b_U^Y B^Y,$$

(9) $T^{YG} = T_1^{YG} + T_2^{YG} + T_3^{YG} + T_4^{YG} + T_5^{YG}$, отчисления в консолидированный бюджет

$$T_5^{XG} = n_5 w p_X^O X_X^{XO} \quad \text{таможенные платежи на экспорт}$$

$$T_4^{YG} = n_4 b_L^{YL} W^Y,$$

$$T_3^{YG} = n_3^Y \left[w p_Y^O X_Y^{YO} + (p_Y^L a_Y^{YL} + p_Y^X a_Y^{YX}) Q_Y^Y \right], \quad \text{акцизы } n_3^Y$$

$$T_2^{YG} = n_2 \left(w p_Y^O X_Y^{YO} + (p_Y^L a_Y^{YL} + p_Y^X a_Y^{YX}) Q_Y^Y - (b_X^{YX} + b_Z^{YB}) W^Y - T_3^{YG} - T_4^{YG} - T_5^{YG} \right),$$

$$T_1^{YG} = n_1 \left(w p_Y^O X_Y^{YO} + (p_Y^L a_Y^{YL} + p_Y^X a_Y^{YX}) Q_Y^Y - (b_X^{YX} + b_L^{YL} + b_Z^{YB}) W^Y - T_2^{YG} - T_3^{YG} - T_4^{YG} - T_5^{YG} \right).$$

$$(10) \quad \frac{dQ_U^X}{dt} = q_Y Y_Y - (a_U^{XL} + a_U^{XY}) Q_U^X$$

$$(11) \quad \frac{dB^Y}{dt} = (p_U^L a_U^{YL} + p_U^X a_U^{YX}) Q_U^Y - (b_U^{YL} + b_U^Y + b_U^{YG}) B^Y$$

Агент L

Безработица в секторе X

$$(1) \quad \frac{dQ_L^{LX}}{dt} = a_L^{LX} Q_L^{LX} - \frac{b_L^{XL} W^X}{s_L^X}$$

$$(2) \quad \frac{ds_L^X}{dt} = \alpha_L^X \left(\frac{b_L^{XL} W^X}{s_L^X} - a_L^{LX} Q_L^{LX} \right)$$

$$(3) \quad \frac{dQ_V^{LX}}{dt} = a_V^{LX} Q_V^{LX} - \frac{b_V^{XL} B^X}{s_L^V}$$

$$(4) \quad \frac{ds_L^V}{dt} = \alpha_L^V \left(\frac{b_V^{XL} B^X}{s_L^V} - a_V^{LX} Q_V^{LX} \right)$$

Безработица в секторе Y

$$(5) \quad \frac{dQ_L^{LY}}{dt} = a_L^{LY} Q_L^{LY} - \frac{b_L^{YL} W^Y}{s_L^Y}$$

$$(6) \quad \frac{ds_L^Y}{dt} = \alpha_L^Y \left(\frac{b_L^{YL} W^Y}{s_L^Y} - a_L^{LY} Q_L^{LY} \right)$$

$$(7) \quad \frac{dQ_U^{LY}}{dt} = a_U^{LY} Q_U^{LY} - \frac{b_U^{YL} B^Y}{s_L^U}$$

$$(8) \quad \frac{ds_L^U}{dt} = \alpha_L^U \left(\frac{b_U^{YL} B^Y}{s_L^U} - a_U^{LY} Q_U^{LY} \right)$$

запас денег

$$(9) \quad \frac{dW^L}{dt} = d^{BL} + b_L^{XL} W^X + b_L^{YL} W^Y + b_V^{XL} B^X + b_U^{YL} B^Y - \\ - (b_X^{LX} + b_V^{LX} + b_Y^{LY} + b_U^{LY} + (1-n_6) b_M^{LO}) W^L - T^{LG} + T^{GL}$$

$$(10) \quad T^{LG} = T_6^{LG} + T_7^{LG} \\ T_6^{LG} = n_6 b_M^{LO} W^L \quad \text{таможенные платежи за импорт} \\ T_7^{LG} = n_7 (d^{BL} + b_L^{XL} W^X + b_L^{YL} W^Y) \quad \text{подходный налог}$$

Агент Т

Запас у посредника Т конечного продукта X для агента L

$$(1) \quad \frac{dQ_X^L}{dt} = a_X^{XL} Q_X^X - \frac{b_X^{LX} W^L}{p_X^L}$$

$$(2) \quad \frac{dp_X^L}{dt} = \alpha_X^L \left(\frac{b_X^{LX} W^L}{p_X^L} - a_X^{XL} Q_X^X \right)$$

$$(3) \quad \frac{dQ_V^L}{dt} = a_V^{XL} Q_V^X - \frac{b_V^{LX} W^L}{p_V^L}$$

$$(4) \quad \frac{dp_V^L}{dt} = \alpha_V^L \left(\frac{b_V^{LX} W^L}{p_V^L} - a_V^{XL} Q_V^X \right)$$

Запас у посредника Т конечного продукта Y для агента L

$$(5) \quad \frac{dQ_Y^L}{dt} = a_Y^{YL} Q_Y^Y - \frac{b_Y^{LY} W^L}{p_Y^L}$$

$$(6) \quad \frac{dp_Y^L}{dt} = \alpha_Y^L \left(\frac{b_Y^{LY} W^L}{p_Y^L} - a_Y^{YL} Q_Y^Y \right)$$

$$(7) \quad \frac{dQ_U^L}{dt} = a_U^{YL} Q_U^Y - \frac{b_U^{LY} W^L}{p_U^L}$$

$$(8) \quad \frac{dp_U^L}{dt} = \alpha_U^L \left(\frac{b_U^{LY} W^L}{p_U^L} - a_U^{YL} Q_U^Y \right)$$

Запас у посредника Т промежуточного продукта X для агента Y

$$(9) \quad \frac{dQ_X^{XY}}{dt} = a_X^{XY} Q_X^X - \frac{b_X^{YX} W^Y}{p_X^Y}$$

$$(10) \quad \frac{dp_X^Y}{dt} = \alpha_X^Y \left(\frac{b_X^{YX} W^Y}{p_X^Y} - a_X^{XY} Q_X^X \right)$$

$$(11) \quad \frac{dQ_V^{XY}}{dt} = a_V^{XY} Q_V^X - \frac{b_V^{YX} W^Y}{p_V^Y}$$

$$(12) \quad \frac{dp_V^Y}{dt} = \alpha_V^Y \left(\frac{b_V^{YX} W^Y}{p_V^Y} - a_V^{XY} Q_V^X \right)$$

Запас у посредника Т промежуточного продукта Y для агента X

$$(13) \quad \frac{dQ_Y^{YX}}{dt} = a_Y^{YX} Q_Y^Y - \frac{b_Y^{XY} W^X}{p_Y^X}$$

$$(14) \quad \frac{dp_Y^X}{dt} = \alpha_Y^X \left(\frac{b_Y^{XY} W^X}{p_Y^X} - a_Y^{YX} Q_Y^Y \right)$$

$$(15) \quad \frac{dQ_U^{YX}}{dt} = a_U^{YX} Q_U^Y - \frac{b_U^{XY} W^X}{p_U^X}$$

$$(16) \quad \frac{dp_U^X}{dt} = \alpha_U^X \left(\frac{b_U^{XY} W^X}{p_U^X} - a_U^{YX} Q_U^Y \right)$$

$$(17) \quad \frac{dW^T}{dt} = (b_X^{LX} + b_Y^{LY}) W^L + b_X^{YX} W^Y + b_Y^{XY} W^X -$$

$$\begin{aligned}
& -\left(p_X^L a_X^{XL} + p_X^Y a_X^{XY}\right) Q_X^X - \left(p_Y^L a_Y^{YL} + p_Y^X a_Y^{YX}\right) Q_Y^Y + \\
& + \left(b_V^{LX} + b_U^{LY}\right) W^L + b_V^{YX} W^Y + b_U^{XY} W^X - \\
& - \left(p_V^L a_V^{XL} + p_V^Y a_V^{XY}\right) Q_V^X - \left(p_U^L a_U^{YL} + p_U^X a_U^{YX}\right) Q_U^Y
\end{aligned}$$

Агент G (правительство – консолидированный бюджет)

Запас денег на счетах консолидированного бюджета

$$\begin{aligned}
(1) \quad \frac{dW^G}{dt} &= b_V^{XG} B^X + b_U^{YG} B^Y + T^{XG} + T^{YG} + T^{LG} - T^{GX} - T^{GY} - T^{GL}, \\
T^{GX} &= b_X^{GX} W^G \\
T^{GY} &= b_Y^{GY} W^G \\
T^{GL} &= b_L^{GL} W^G
\end{aligned}$$

Дефицит (а если < 0 – профицит) консолидированного бюджета

$$(2) \quad D^G = -b_V^{XG} B^X - b_U^{YG} B^Y - T^{XG} - T^{YG} - T^{LG} + T^{GX} + T^{GY} + T^{GL}$$

Агент B (банковская система - Центральный банк)

Банковские активы состоят из золото-валютных резервов $R(t)$ и суммарной задолженности секторов $Z(t)$, а пассивы – из суммарных запасов денег у контрагентов банковской системы $W(t)$, которые подчиняются финансовому балансу банковской системы:

$$(1) \quad wR(t) + Z(t) = W(t),$$

где w – курс обмена иностранной валюты на отечественную (определяется как заданная функция времени), рублей за 1\$. Срочные депозиты, на которые начисляют процент, не учитываем.

Золото-валютные резервы $R(t)$ (в млрд \$) определяются платежным балансом

$$\begin{aligned}
(2) \quad \frac{dR}{dt} &= \sum_{i=X}^Y p_i^O X_i^{iO} - M_M^{OL}, \\
M_M^{OL} &= \frac{(1-n_6) b_M^{LO} W^L}{w}
\end{aligned}$$

где p_i^O – цена на экспортный товар X_i^{iO} сектора i на внешнем рынке (в остальном мире O), в \$ за единицу. Рассматриваем весь импорт как

отдельный потребительский товар, доля которого b_M^{LO} в потреблении населения фиксирована. Внешние заимствования и перетоки капитала через границу в (2) не учтены.

Суммарная задолженность агентов $Z(t)$ растет за счет выдачи новых кредитов C^{Bi} , начисления процентов на остаток задолженности и снижается за счет погашения задолженности

$$(3) \quad \frac{dZ}{dt} = \sum_{i=X}^Y C^{Bi}(t) + r(t)Z(t) - \sum_{i=X}^Y H^{iB}(t), \quad (\text{или } Z = Z^X + Z^Y).$$

Банковская прибыль

$$(4) \quad d^{BL} = r(t)Z(t)$$

поступает в доходы населения.

Суммарные запасы денег

$$(5) \quad W(t) = W^X + W^Y + W^T + W^L + W^G$$

Резервы банковской системы $wR(t)$ обеспечивают вклады контрагентов при законодательно установленной норме резервирования ξ .

$$(6) \quad wR(t) \geq \xi W(t).$$

Тогда банковская система стремится предоставить максимальный кредит, который допускают соотношения (1) и (6):

$$(7) \quad Z = \frac{1-\xi}{\xi} wR.$$

Считаем, что спрос на кредиты, обеспеченные ликвидационной стоимостью производственных фондов, полностью удовлетворяется банковской системой. В результате, соотношения (2), (3) и (7) определяют процент по кредитам $r(t)$:

$$(8) \quad r(t) = \left(\frac{1-\xi}{\xi} w \left(\sum_{i=X}^Y p_i^O X_i^{iO} - M_M^{OL} \right) + \sum_{i=X}^Y H^{iB} - \sum_{i=X}^Y C^{Bi} \right) / Z(t).$$