

Перспективи подальших досліджень

Обґрунтовані чинники виникнення тіньових процесів в економіці прикордонного з Європейським Союзом регіоні України будуть використані у подальших дослідженнях з розроблення відповідно до цієї проблематики теоретичного підґрунтя – теорії “тіньової” економіки, чинників її виникнення та розвитку. Практичною основою досліджень з детінізації економіки на регіональному рівні повинна стати нова стратегія щодо трансформації фінансових, людських та організаційних ресурсів “тіньової” економіки регіонів до офіційної економіки. Виведення з “тіні” цих ресурсів сприятиме зростанню національного інвестиційного капіталу та матиме значний позитивний ефект для місцевих бюджетів. Також важливим чинником детінізації слугуватиме продовження податкової реформи, спрямованої на зниження і вирівнювання податкового тягаря, спрощеної податкової системи, посилення податкового контролю за рівнем витрат виробництва, мінімізацію витрат виконання й адміністрування податкового законодавства.

1. *Sneider F. The size and development of the shadow economies and shadow economy labour force of 22 Transition and 21 OECD countries: what do we really know? – K&D, 2002. – 38 p.* 2. *Тіньова економіка: сутність, особливості та шляхи легалізації / За ред. З.С. Варналя. – К.: НІСД, 2006. – 576 с.* 3. *Карлін М.І. Державні фінанси України: Навч. посіб. – К.: Знання, 2008. – 348 с.* 4. *Сайт Державної податкової адміністрації України – http://www.sta.gov.ua/tax/control/uk/publish/article?art_id=80420&cat_id=80418 – від 24.01.2008 р.*

УДК 519.86

О.В. Гайдучок

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра прикладної математики

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМНОЇ МОДЕЛІ ДВОСЕКТОРНОЇ ЕКОНОМІКИ ІЗ ВИДІЛЕННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРА

© Гайдучок О.В., 2008

Описано системну модель двосекторної економіки, у якій окремо розглядається енергетичний та виробничий сектори. Досліджено систему диференціально-функціональних рівнянь для капіталу, потужності, цін на продукти для першого і другого економічних секторів, заробітної плати, проаналізовано характер зміни основних макроекономічних показників при різних змінах ціни на енергосировину.

Ключові слова: системна модель двосекторної економіки, виробничий сектор, енергетичний сектор, потужність сектора, капітал, ціна продукту.

The system model of two sector economics, in which power and production sectors acts separately, is described. The system of functional-differential equations for sector power, capital, banking reserve, product prices for first and second sector, and salary is examined. The changes in main macroeconomic indices due to different change in energy price are analyzed.

Key words: system model of two-sector economics, industrial sector, power industry, sector power, capital, product price.

Постановка проблеми

Як відомо, економіка України істотно залежить від постачання імпортованої енергосировини за цінами, які постійно зростають. Підвищення ціни енергосировини призводить до зміни усіх макроекономічних показників, зокрема до збільшення ціни товарів. Проте невідомо, наскільки

обґрунтоване підвищення ціни товарів при підвищенні ціни енергосировини, тобто невідома кількісна зміна показників економіки при різних режимах зміни ціни енергосировини. Для дослідження поведінки енергозалежної економіки розглянуто системну модель двосекторної економіки із виділенням енергетичного сектора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У літературі описано доволі багато методів для дослідження і прогнозування майбутньої економічної ситуації, а саме: метод часових рядів; методи лінійного та нелінійного регресійного аналізу, методи імітаційного моделювання; економетричні моделі. Проте аналіз відомих моделей виявив, що них не реалізовано системного підходу. Специфіка системного підходу до побудови макроекономічної моделі визначається тим, що цей підхід орієнтує дослідження на розкриття цілісності об'єкта та механізмів, що його забезпечують, на виявлення різноманітних типів зв'язків складного об'єкта і зведення їх в єдину теоретичну картину. Системний підхід ґрунтується на принципі цілісності об'єкта дослідження, тобто дослідженні його властивостей як єдиного цілого, єдиної системи [1, с. 5]. Будь-яка зміна вхідних даних призводить до зміни вихідного результату.

Постановка цілей

Системний аналіз економіки із виділенням енергетичного сектора зумовлює постановку таких цілей:

- виділити та описати усіх економічних агентів двосекторної економіки;
- отримати замкнуту систему диференціальних рівнянь для основних макроекономічних показників;
- проаналізувати характер зміни основних макроекономічних показників за різних режимів зміни ціни імпортованої енергосировини.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо системну модель двосекторної економіки. Виробництво поділимо на два сектори – в першому виробляється кінцевий продукт, а у другому – енергія, необхідна для виробництва кінцевого продукту. Крім енергії, виробництво продукту першого сектора вимагає витрат робочої сили. Другий сектор (енергетичний) порівняно нетрудомісткий, тому витратами робочої сили нехтуємо і припускаємо, що для виробництва енергії необхідна лише енергетична сировина. Для простоти вважаємо, що енергосировина імпортується ззовні у потрібній кількості за заданими цінами.

Опишемо усіх економічних агентів за [2, с. 182]. Виробнича функція першого сектора подається у вигляді:

$$Y_1 = F_1(M_1, R^L, E) = M_1 f_1(x_1^1, x_1^2), \quad x_1^1 = \frac{R^L}{M_1}, \quad x_1^2 = \frac{E}{M_1}, \quad (1)$$

де M_1 – потужність, $f_1(x_1^1, x_1^2)$ – виробнича функція першого сектора, R – кількість робочої сили, E – енергія. За умови максимуму поточного прибутку виробництва продукту можна визначити функції попиту на робочу силу $R^d\left(\frac{s}{p_1}, \frac{p_2}{p_1}\right)$, на енергію $E^d\left(\frac{s}{p_1}, \frac{p_2}{p_1}\right)$ та функція пропозиції

продукту $Y_1^*\left(\frac{s}{p_1}, \frac{p_2}{p_1}\right)$ із таких рівнянь:

$$\frac{\partial f_1(x_1^1, x_1^2)}{\partial x_1^1} = \frac{s}{p_1}, \quad \frac{\partial f_1(x_1^1, x_1^2)}{\partial x_1^2} = \frac{p_2}{p_1}, \quad (2)$$

де s – ставка заробітної плати, p_1 – ціна продукту першого сектора, p_2 – ціна продукту другого сектора.

Зміни сумарної потужності першого сектора описуються так:

$$\frac{dM_1}{dt} = I_1 - m_1 M_1, \quad (3)$$

I_1 – швидкість створення нових потужностей.

Інвестиції Φ_1^I в перший сектор $\Phi_1^I = p_1 b_1 I_1$.

Виробництво у другому секторі описується виробничою функцією:

$$Y_2 = F_2(M_2, V_E) = M_2 f_2(x_2), \quad x_2 = \frac{V_E}{M_2}, \quad (4)$$

де M_2 – потужність, $f_2(x_2)$ – виробнича функція другого сектору, V_E – кількість енергетичної сировини, що витрачається. Попит на енергетичну сировину $V_E^d \left(\frac{p_2}{p_E} \right)$ і пропозиція енергії

$Y_2^s \left(\frac{p_2}{p_E} \right)$ першому сектору і населенню залежно від ціни енергії p_2 та ціни енергетичної сировини p_E знаходять з умови максимуму поточного прибутку виробництва енергії за таким рівнянням:

$$f_2'(x_2) = \frac{p_E}{p_2}. \quad (5)$$

Виробнича потужність другого сектора змінюється так:

$$\frac{dM_2}{dt} = I_2 - m_2 M_2. \quad (6)$$

Швидкість I_2 створення нових потужностей визначається за інвестиціями Φ_2^I в другий сектор: $\Phi_2^I = p_2 b_2 I_2$.

Ціна продукту першого сектору коливається залежно від запасу Q_1 (a_1 константа):

$$\frac{dp_1}{dt} = -a_1 \frac{Q_1}{M_1} p_1, \quad (7)$$

а Q_1 змінюється згідно з рівнянням $\frac{dQ_1}{dt} = Y_1 - \frac{\Phi_1}{p_1}$.

Ціна на енергію коливається залежно від співвідношення попиту на неї та її пропозиції. Але береться до уваги, що незалежні виробники створюють єдину систему забезпечення енергією. Тому, коли попит менший від пропозиції, ціна на енергію зменшується значно повільніше ніж вона зростає, коли пропозиція менша, ніж попит. Ця обставина виражається таким рівнянням зміни ціни енергії:

$$\frac{dp_2}{dt} = -a_2 \left(Y_2^s, Y_2^d \right) \frac{Y_2^s - Y_2^d}{Y_2^s} p_2, \quad (8)$$

в якому $a_2(Y_2^s, Y_2^d)$ – додатна кусково-стала функція: $a_2 = a_2^+$, якщо $Y_2^s - Y_2^d \geq 0$; $a_2 = a_2^-$, якщо $Y_2^s - Y_2^d < 0$; $a_2^- > a_2^+$. Попит на енергію $Y_2^d = E + C_2$, пропозиція енергії $Y_2^s = M_2 f_2(x_2)$.

Припускається, що ціна енергетичної сировини на зовнішньому ринку p_E задана. За цією ціною задовольняється попит на сировину V_E , заданий виразом $V_E^d = M_2 x_2$.

Ставка заробітної плати s описується рівнянням:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{\Delta} \max \left\{ 0, \frac{R^d - R^s}{R^s} \right\}, \quad (9)$$

де $\Delta > 0$ – стала часу, попит на робочу силу R^d заданий виразом $R^d = M_1 x_1^1$, а пропозиція R^s – виразом $R^s = P^A U(w)$, $w = \frac{C_1^L}{P}$. Кількість зайнятих визначається як $R^L = \min \{ R^d, R^s \}$.

На основі рівнянь балансів для усіх економічних агентів отримуємо систему диференціально-функціональних рівнянь для потужностей секторів, капіталу, цін, заробітної плати (після вилучення усіх змінних):

$$\begin{aligned}
\frac{dM_1}{dt} &= \left(\frac{kk_1}{p_1 b_1 x^*} f_1(x_1^1, x_1^2) - m_1 \right) M_1 + \frac{k_1}{p_1 b_1} (m_1^* K_1 + m_2^* K_2) \\
\frac{dM_2}{dt} &= \frac{(1-k_1)k}{p_2 b_2 x^*} M_1 f_1(x_1^1, x_1^2) - m_2 M_2 + \frac{(1-k_1)}{p_2 b_2} (m_1^* K_1 + m_2^* K_2) \\
\frac{dK_1}{dt} &= \frac{k_1 k}{x^*} M_1 f_1(x_1^1, x_1^2) - (1-k_1) m_1^* K_1 + k_1 m_2^* K_2. \\
\frac{dK_2}{dt} &= \frac{(1-k_1)k}{x^*} M_1 f_1(x_1^1, x_1^2) + (1-k_1) m_1^* K_1 - k_1 m_2^* K_2. \\
\frac{dp_1}{dt} &= d \frac{1}{K_1} \left(\frac{k}{x^*} M_1 f_1(x_1^1, x_1^2) + m_1^* K_1 + m_2^* K_2 - p_1 \left(\frac{s \min \{M_1 x_1^1, P_0^A U e^{I p^t}\}}{p_1 + c^L p_2} + \frac{h p_1 M_1 f_1(x_1^1, x_1^2)}{p_1 + c^0 p_2} \right) \right) - \\
&\quad - d \frac{1}{K_1} \left(s \min \{M_1 x_1^1, P_0^A U e^{I p^t}\} + p_2 M_1 x_1^2 \right) - d m_1^* + d m_2^* - \\
&\quad - d \frac{1}{K_2} \left(p_2 M_1 x_1^2 + p_2 \left(\frac{c^L s \min \{M_1 x_1^1, P_0^A U e^{I p^t}\}}{p_1 + c^L p_2} + \frac{c^0 h p_1 M_1 f_1(x_1^1, x_1^2)}{p_1 + c^0 p_2} \right) \right) \\
\frac{dp_1}{dt} &= -a_1 \frac{Q_1}{M_1} p_1. \tag{10} \\
\frac{dQ_1}{dt} &= M_1 f_1(x_1^1, x_1^2) - \frac{s \min \{M_1 x_1^1, P_0^A U e^{I p^t}\}}{p_1 + c^L p_2} + \frac{p_1 M_1 f_1(x_1^1, x_1^2) c^0}{p_1 + c^0 p_2} - \frac{1}{p_1} \left(\frac{k}{x^*} M_1 f_1(x_1^1, x_1^2) + m_1^* K_1 + m_2^* K_2 \right) \\
\frac{dp_2}{dt} &= -a_2 \frac{1}{M_2 f_2(x_2)} \left(M_2 f_2(x_2) - M_1 x_1^1 + \frac{c^L s \min \{M_1 x_1^1, P_0^A U e^{I p^t}\}}{p_1 + c^L p_2} + \frac{h p_1 M_1 f_1(x_1^1, x_1^2) c^0}{p_1 + c^0 p_2} \right) p_2. \\
\frac{ds}{dt} &= \frac{1}{\Delta} \max \left\{ 0, \frac{M_1 x_1^1}{P_0^A U e^{I p^t}} - 1 \right\}.
\end{aligned}$$

де x_1^1, x_1^2, x_2 знаходять із рівностей

$$\frac{\partial f_1(x_1^1, x_1^2)}{\partial x_1^1} = \frac{s}{p_1}, \quad \frac{\partial f_1(x_1^1, x_1^2)}{\partial x_1^2} = \frac{p_2}{p_1}, \quad f_2'(x_2) = \frac{p_2}{p_2}. \tag{11}$$

Як бачимо з цієї системи, потужність першого економічного сектора залежить від ціни одиниці продукції у цьому секторі, коефіцієнта зношення відповідного обладнання, а також від капіталу у першому та другому економічних секторах. Також на потужність першого сектора істотно впливає значення виробничої функції, що показує рівень випуску товарів у першому економічному секторі, та коефіцієнта частини інвестицій, що надходять в перший сектор. Потужність другого економічного сектора подібно залежить від ціни одиниці продукції другого сектора, потужності першого сектора, коефіцієнта зношення обладнання, а також рівня капіталу як в першому, так і у другому економічних секторах.

Капітал першого економічного сектора прямо пропорційно залежить від потужності цього економічного сектора. Як можна бачити, ріст капіталу першого економічного сектора гальмують списання обладнання в обох секторах. Подібна динаміка спостерігається і для капіталу другого економічного сектора. Відзначимо також, що зниження норми банківського резервування позитивно впливає на ріст капіталу у першому і другому економічних секторах, а також на ріст потужності цих секторів економіки.

Зміна нормативного запасу продукції першого економічного сектора має доволі складну залежність від потужності і ціни одиниці продукції у цьому секторі, кількості активних працівників у цьому секторі та значення виробничої функції першого економічного сектора. Нагадаємо, що запас продукції другого сектора у цій моделі не розглядається через особливість енергетичного сектору, яка полягає в тому, що енергія має доволі малу можливість запасатись.

Динаміка зміни ціни одиниці продукції у першому економічному секторі залежить від потужності цього сектора, а також від запасу цієї продукції. Також вона може регулюватись через зміну параметра a_1 . Динаміка зміни ціни одиниці продукції у енергетичному секторі залежить від потужностей першого і другого економічних секторів, рівня споживання продукту цього сектора для виробництва товарів першого економічного сектора, заробітної платні у першому секторі, а також від значення виробничої функції другого економічного сектора.

Параметрами системи є: b_1, b_2 – коефіцієнти фондомісткості одиниці потужності (для першого та другого секторів відповідно); m_1, m_2 – темпи вибуття потужності внаслідок зношення основних фондів відповідних секторів; λ – темп зростання пропозиції робочої сили; d – часова стала, що характеризує релаксацію зміни частки інвестицій у перший та другий сектори економіки; p_E – ціна на енергію; m_1^*, m_2^* – темп списання виробничого устаткування; k – вартісна величина золота (чи валюти) у валовому продукті, що надходить до резервного активу банківської системи; ξ^* – норма банківського резервування; Δ – часовий масштаб релаксації ставки заробітної плати на ринку робочої сили; η – частина вартості внутрішнього валового продукту, яку споживають власники; c^L – споживання енергії на одиницю продукту 1-го сектора.

Виробничі функції мають бути монотонно зростаючими, гладкими та увігнутими. У цій моделі ми розглянули такі виробничі функції:

$$\begin{aligned} f_1(x_1^1, x_1^2) &= \left[1 - \left(1 - \frac{a_1 x_1^1}{a_2} \right)^{a_3} \right] \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{a_4 x_1^2}{a_5} \right)^{a_6} \right] \\ f_2(x_2) &= \left[1 - \left(1 - \frac{b_1 x_2}{b_2} \right)^{b_3} \right] \end{aligned} \quad (12)$$

Оскільки система рівнянь є неявною та функціонально залежною, то неможливо отримати її аналітичний розв'язок. Для отримання числових результатів та графіків зміни основних макроекономічних показників написано комп'ютерну програму, яка використовує модифікацію методу Ейлера [3, с. 90] із урахуванням функціональних умов (11).

Дослідимо розв'язки цієї системи. Будемо розглядати такі випадки: звичайний (ціна на енергосировину стала), збільшення ціни на енергосировину вдвічі (подвійна ціна на енергосировину протягом всього періоду), лінійне збільшення ціни енергосировини упродовж досліджуваного періоду, а також стрибок ціни на енергосировину у певний момент часу.

Пунктиром позначено звичайний випадок, суцільною лінією – випадки, при яких відбувається зміна ціни енергосировини.

Як видно з рис. 1–2, збільшення ціни енергосировини приводить до збільшення потужностей першого із секторів, до зменшення потужності другого із секторів, а також до збільшення ціни одиниці товару, однак збільшення ціни енергосировини негативно позначається на кількості випуску товарів як першого, так і другого економічних секторів. Цей ефект можна пояснити тим, що при збільшенні ціни енергосировини відбувається стрибок ціни продукції, внаслідок чого може знизитись рівень їхнього споживання, що, своєю чергою, призведе до зменшення випуску продукції або заміни її на економічніші та продуктивніші (енергосировина стає дорогою і це призводить до збільшення кількості залученої робочої сили, а, отже, до підвищення зарплати для приваблення працівників). Цей ефект особливо помітний у разі різкого стрибка ціни енергосировини через 50 кроків після початку моделювання.

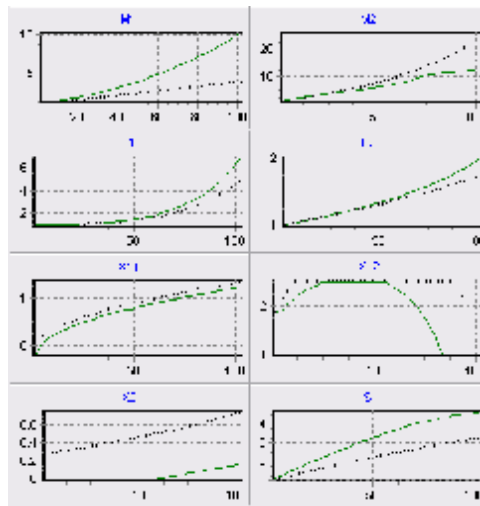


Рис 1. Результати моделювання зміни виробничих потужностей, цін продукції першого та другого економічних секторів, заробітної плати протягом 100 кроків (збільшення ціни енергосировини вдвічі на початку періоду)

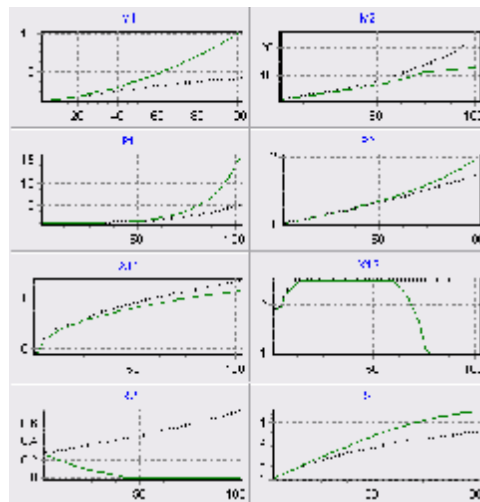


Рис 2. Результати моделювання зміни виробничих потужностей, цін продукції першого та другого економічних секторів, заробітної плати протягом 100 кроків (лінійне збільшення ціни енергосировини на 2 % за один крок протягом досліджуваного періоду)

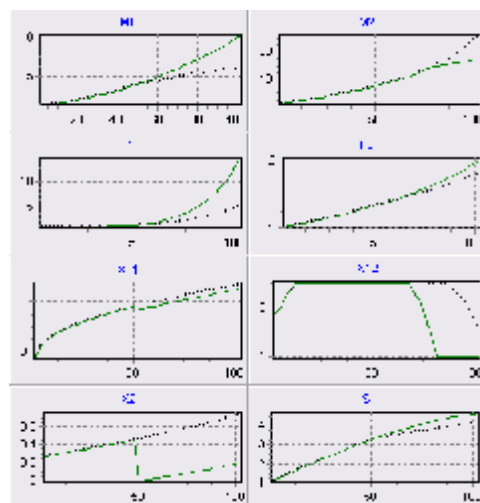


Рис 3. Результати моделювання зміни виробничих потужностей, цін продукції першого та другого економічних секторів, заробітної плати протягом 100 кроків (збільшення вдвічі стрибком ціни енергосировини через 50 кроків)

При збільшенні ціни енергосировини вдвічі можна побачити, що потужність першого сектора зростає приблизно на 70 %, потужність другого зменшується на 50 %, ціна продукції першого сектора зростає на 30 %, заробітна плата на 30 %.

При лінійному зростанні ціни темпом 2 % за крок потужність першого сектора зростає приблизно на 70 %, потужність другого зменшується на 50 %, ціна на продукти першого сектора зростає на 65 %, заробітна плата на 30 %.

При збільшенні ціни енергосировини стрибком в момент часу 50 вдвічі, можна побачити, що потужність першого сектора зростає приблизно на 40 %, потужність другого зменшується на 30 %, ціна продукції першого сектора зростає на 65 %, заробітна плата на 10 %.

При порівнянні різних досліджуваних моделей поведінки ціни енергосировини бачимо, що при лінійній зміні ціни енергосировини потужність першого сектора зростає швидше. А потужність другого спадає приблизно так само, як за стабільної ціни енергосировини. У разі стрибкоподібної зміни ціни зростання потужності другого економічного сектора становить близько на 20 %, тоді як динаміка зміни потужностей першого економічного сектора залишається приблизно однаковою.

Подібну залежність спостерігаємо і щодо ціни продукції першого економічного сектора.

Щодо кількості продукції другого сектора (енергії), що задіяний для виробництва продукції першого сектора, то тут бачимо, що він певний час доволі сильно зростає, а потім, досягнувши певного максимального значення, залишається сталим, причому час, коли цей показник досягає максимального значення, як видно з рис. 1–3, залежить від ціни енергосировини і від того, як саме вона змінюється.

Щодо випуску продукції другого сектора, бачимо, що збільшення ціни енергосировини істотно гальмує зростання цього показника.

Для визначення адекватності змодельованих даних виконано порівняння із виглядом потужності сектора, ціни продукту, зарплати в Україні на основі офіційної статистики Національного банку України щодо макроекономічних показників за останні 10 років. Характери росту цих показників є схожими на змодельовані дані, отже, можна зробити висновок про адекватність моделювання.

Висновки

1. З метою дослідження залежності макроекономічних показників від зміни ціни імпортованої енергосировини описано системну модель двосекторної економіки.

2. Досліджено замкнену систему функціонально-диференціальних рівнянь для потужностей секторів, капіталу, цін на продукти, заробітної плати.

3. Проаналізовано графіків залежностей основних показників за різних режимів зростання ціни енергосировини.

4. Перевірено характер зростання отриманих змодельованих даних із характером зростання показників для України за останні десять років.

Перспективи подальших досліджень

Теоретичні аспекти аналізу зміни макроекономічних показників будуть використовуватися у подальших дослідженнях системної моделі двосекторної економіки для прогнозування поведінки економіки. Оскільки системна модель залежить від низки параметрів, то можна виконати різні експерименти за різного початкового сценарію і проаналізувати залежність вихідних показників від набору вхідних параметрів. Також планується адаптувати модель до особливостей економіки України, а саме ввести у модель оподаткування, інфляційні процеси та відсутність ідеальної роботи ринку (обмеження на видачу нових кредитів).

1. Ляшенко І.М., Коробова М.В., Столяр А.М. *Основи математичного моделювання економічних, екологічних та соціальних предметів.* – Тернопіль, 2006. – 300 с. 2. Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А. *Опыт математического моделирования экономики.* – М., 1996. – 480 с. 3. Самарский А.А., Гулин А.В. *Численные методы.* – М., 1989. – 150 с.