

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Е.М. Игумнова, А.В. Набойкина*,
И.Е. Тимченко, И.И. Тимченко**

Морской гидрофизический институт
НАН Украины,

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

* Харьковский национальный экономический университет, г. Харьков

** Харьковский национальный политехнический университет – ХПИ, г. Харьков

Системная методология управления, основанная на предложенных авторами принципах и методах моделирования, применена в задачах прогнозирования сценариев развития двух социально-экономических систем. В первой рассмотрены процессы формирования системного мышления в учебных процессах средней и высшей школы. Во второй – сценарии трансформации социально-экономических процессов в условиях кризиса.

Системное моделирование сценариев развития. Устойчивое развитие социально-экономических систем предполагает непрерывный поиск и осуществление таких сценариев использования природных и социально-экономических ресурсов общества, которые наилучшим образом отвечают как текущим, так и долговременным целевым установкам развития. В подобной постановке проблема устойчивого развития не может быть решена без создания моделей для прогнозирования реакции системы на управления, ведущие к достижению целей развития. В ряде исследований были предложены основы системной методологии управления устойчивым развитием [1,2]. Практическим результатом этой методологии является новый метод моделирования сложных систем управления развитием, названный нами методом адаптивного баланса влияний (*ABC-method* [1]). В этом методе найдена общая система уравнений, которая обладают быстрой сходимостью к стационарным решениям. Если считать, что влияние каждого процесса x_i в социально-экономической системе дает вклад в значение другого процесса x_j , пропорциональный его величине, т.е. $a_{ij}x_i$, то уравнения *ABC*-модели принимают следующий вид:

$$\frac{dx_i}{dt} = x_i \left[1 - 2 \left(x_i - \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \right) \right], \quad (i \neq j). \quad (1)$$

$$\frac{da_y}{dt} = a_y \left\{ 1 - 2 \left[a_y - R_{yj}^{-1} \left(R_{yj} - \sum_{k=1}^n a_{yk}R_{kj} \right) \right] \right\}, \\ (i, j = 1, 2, \dots, n), \quad (k \neq i),$$

где $R_{kl} = E \{x_k x_l\}$ – коэффициенты взаимной корреляции моделируемых процессов, получаемые по архивным данным наблюдений этих процессов. Ниже мы приводим вкратце примеры использования системной методологии для прогнозирования возможных сценариев развития при различных вариантах управления ресурсами развития.

Моделирование сценариев развития системного мышления в учебных процессах средней и высшей школы. Системное мышление [3] позволяет реализовать на практике системную методологию управления, т.е. создавать информационные технологии компьютерной поддержки принимаемых решений, играющие исключительную роль при управлении устойчивым развитием.

Концептуальная модель системы школьного образования, развивающая навыки системного мышления, показана на рис. 1.



Рисунок 1 – Концептуальная модель школьного образования, развивающего навыки системного мышления [4]

Ее формализация, проведенная в работе [4], дала следующую *ABC*-модель:

$$\frac{dx_1}{dt} = x_1 [1 - 2(x_1 - a_{12}x_2(t - \tau_2) - a_{13}x_3(t - \tau_3))];$$

$$\frac{dx_2}{dt} = x_2 [1 - 2(x_2 - a_{26}x_{26} - a_{21}x_{21})];$$

$$\begin{aligned}\frac{dx_3}{dt} &= x_3 [1 - 2(x_3 - a_{34}x_4 - a_{3/21}x_{21} + A_3(x_5))]; \\ \frac{dx_4}{dt} &= x_4 [1 - 2(x_4 - a_{4/10}x_{10} + A_4(x_5))]; \\ \frac{dx_5}{dt} &= x_5 [1 - 2(x_5 - a_{52}x_2 - a_{53}x_3)];\end{aligned}\quad (2)$$

$$\frac{dx_6}{dt} = x_6 [1 - 2(x_6 - a_{64}x_4)];$$

$$\begin{aligned}A_3(x_5) &= IF \left[\begin{array}{l} x_5 < x_5^*; a_{35}x_5; \\ a_{35} + a_{35}^*(1 - \exp(-\alpha_3\tau))x_5 \end{array} \right]; \\ A_4(x_5) &= IF \left[\begin{array}{l} x_5 < x_5^*; a_{45}x_5; \\ a_{45} + a_{45}^*(1 - \exp(-\alpha_4\tau))x_5 \end{array} \right].\end{aligned}$$

В модели использованы операторы (агенты) управления $A_3(x_5)$ и $A_4(x_5)$, которые следят за интеллектуальной нагрузкой школьников и включают при необходимости механизмы ослабления этой нагрузки. В качестве внешних влияний на модель школьного образования были использованы два процесса, относящиеся к внешней среде. Это – спрос на системно мыслящих специалистов на рынке труда, который обозначен x_{10} , и квалификация преподавателей средних школ x_{21} , которых готовит высшая школа.

В дополнение к модели школьной системы рассмотрим теперь модель системы высшего образования, выпускающей специалистов по системным технологиям управления, считая, что одним из условий успешной работы высшей школы является подготовка для нее выпускников средних школ, имеющих соответствующие навыки системного мышления.

Концептуальная модель системы высшего образования, готовящей специалистов в области системных технологий, изображена на рисунке 2. Спрос на специалистов на рынке труда определяет необходимые балансы финансирования средней и высшей школы, которые учтены в модели.

Проведем формализацию модели образования высшей школы тем же способом, который был применен выше для школьной системы. Уравнения АВС- метода для этой модели принимают вид:

$$\begin{aligned}\frac{dx_7}{dt} &= x_7 [1 - 2(x_7 - a_{7/10}x_{10})]; \\ \frac{dx_8}{dt} &= x_8 [1 - 2(x_8 - a_{8/7}x_7 + A_8(x_{14}))]; \\ \frac{dx_9}{dt} &= x_9 [1 - 2(x_9 - a_{9/11}x_{11} + a_{98}x_8)]; \\ \frac{dx_{10}}{dt} &= x_3 [1 - 2(x_8 + a_{10/8}x_8)]; \\ \frac{dx_{11}}{dt} &= x_{11} [1 - 2(x_1 - a_{11/10}x_{10})]; \\ \frac{dx_{12}}{dt} &= x_{12} [1 - 2(x_2 - a_{12/11}x_{11})]; \\ \frac{dx_{13}}{dt} &= x_{13} [1 - 2(x_{13} - a_{13/8}x_8 + A_{13}(x_{18}))]; \\ \frac{dx_{14}}{dt} &= x_{14} [1 - 2(x_{14} - a_{14/12}x_{12} + a_{14/15}x_{15})]; \\ \frac{dx_{15}}{dt} &= x_{15} [1 - 2(x_{15} - a_{15/17}x_{17})]; \\ \frac{dx_{16}}{dt} &= x_{16} [1 - 2(x_{16} - a_{16/13}x_{13})]; \\ \frac{dx_{17}}{dt} &= x_{17} [1 - 2(x_{17} + A_{17}(x_9))]; \\ \frac{dx_{18}}{dt} &= x_{18} [1 - 2(x_{18} - a_{18/16}x_{16} + a_{18/19}x_{19})]; \\ \frac{dx_{19}}{dt} &= x_{19} [1 - 2(x_{19} - a_{19/17}x_{17})]; \\ \frac{dx_{20}}{dt} &= x_{20} [1 - 2(x_{20} - a_{20/15}x_{15} - a_{20/19}x_{19} - a_{20/21}x_{21})]; \\ \frac{dx_{21}}{dt} &= x_{21} [1 - 2(x_{21} - a_{21/19}x_{19} - a_{21/20}x_{20})]; \\ A_8(x_{14}) &= IF \left[\begin{array}{l} x_{12} - x_{15} < 0, \{a_{8/14} + a_{8/14}^*(1 - \exp(-\alpha_8\tau))\}x_{14}; \\ \{a_{8/14} - a_{8/14}^*(1 - \exp(-\alpha_8\tau))\}x_{14} \end{array} \right]; \\ A_{13}(x_{18}) &= IF \left[\begin{array}{l} x_{16} - x_{19} < 0, \{a_{13/18} + a_{13/18}^*(1 - \exp(-\alpha_{13}\tau))\}x_{18}; \\ \{a_{13/18} - a_{13/18}^*(1 - \exp(-\alpha_{13}\tau))\}x_{18} \end{array} \right]; \\ A_{17}(x_9) &= IF \left[\begin{array}{l} x_{11} - x_8 < 0, \{a_{17/9} + a_{17/9}^*(1 - \exp(-\alpha_{17}\tau))\}x_9; \\ \{a_{17/9} - a_{17/9}^*(1 - \exp(-\alpha_{17}\tau))\}x_9 \end{array} \right].\end{aligned}\quad (3)$$

Агенты $A_8(x_{14})$, $A_{13}(x_{18})$, и $A_{17}(x_9)$ выполняют важные функции управления системой образования. Они реагируют на диспропорции, возникающие между существующими и необходимыми для народного хозяйства количествами специалистов в области системных технологий и стремятся их уменьшить путем изменения уровней финансирования преподавания соответствующих предметов в средней и высшей школах.

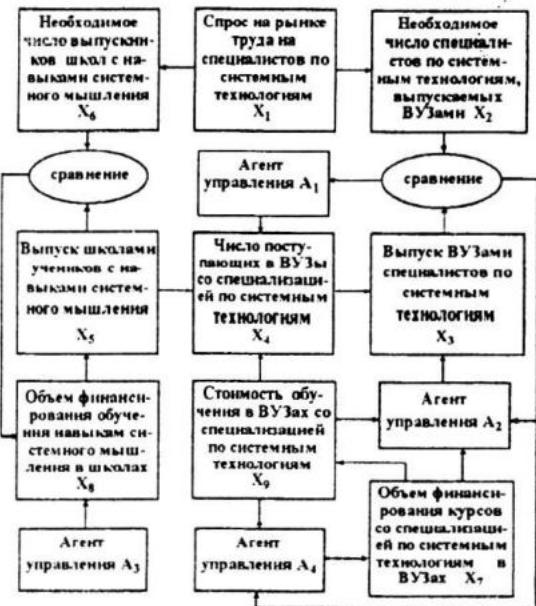


Рисунок 2 – Модель системы высшего образования, готовящей специалистов в области системных технологий

Рассмотрим результаты вычислительных экспериментов с моделью высшего образования. На рисунках 3 и 4 представлены в относительных (безразмерных) единицах сценарии процессов развития в этой системе при внешних факторах, способствующих росту спроса на специалистов на рынке труда.

Как следует из этих рисунков, модель (3) обладает широкими возможностями для прогнозирования сценариев процессов в системах образования. Изменяя ее параметры, можно определить наиболее выгодные сценарии финансирования, обеспечивающие специалистами рынок труда.

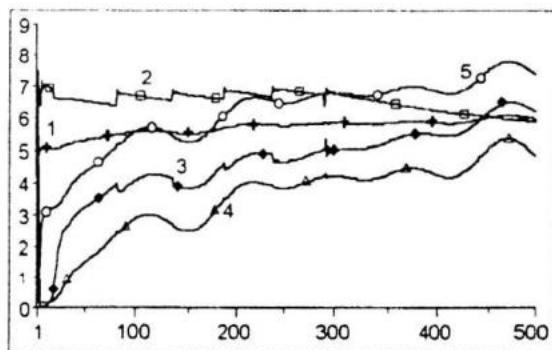


Рисунок 3 – Прогнозы сценариев: 1 – выпуска школ, 2 – выпуска ВУЗов, 3 – баланса рынка труда, 4 – спроса на специалистов по системным технологиям, 5 – необходимого количества специалистов по системным технологиям

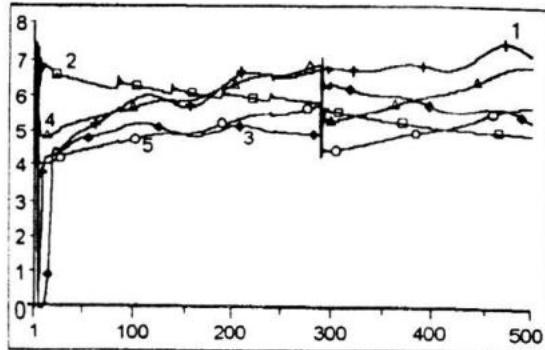


Рисунок 4 – Прогнозы сценариев: 1 – необходимого финансирования ВУЗов, 2 – необходимого количества выпускников школ, 3 – баланса финансирования ВУЗов, 4 – текущего финансирования ВУЗов, 5 – осознания необходимости изменения финансирования

Модель трансформации экономики. В качестве еще одного примера использования системного управления рассмотрим модель трансформации экономики [5]. Примем, что основные процессы, характеризующие развитие кризисной ситуации в экономике, связаны между собой, как показано на рисунке 5.

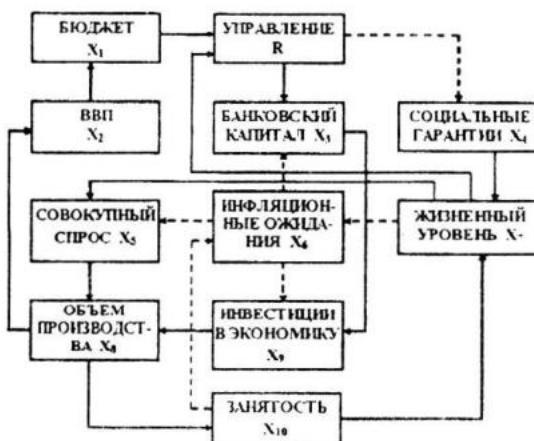


Рисунок 5 – Концептуальная модель трансформации экономики. Пунктиром показаны отрицательные влияния

Эта модель в упрощенном виде представляет развитие кризисной ситуации в социально-экономической системе, когда в условиях экономического роста банковский капитал теряет свою способность инвестировать финансовые средства в производство. Совокупный спрос определяет общую величину бюджета, распределяемого между социальной сферой и инвестициями в эко-

номику, что в конечном итоге влияет на уровень жизни населения.

Применяя *ABC*-метод, получим следующие уравнения модели трансформации экономики, в которых предусмотрена функция R , способная перераспределить бюджетные средства между социальной сферой и инвестициями в экономику:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_1[1 - 2(x_1 - a_{12}x_2)], \\ \frac{dx_2}{dt} &= x_2[1 - 2(x_2 - a_{28}x_8)], \\ \frac{dx_3}{dt} &= x_3[1 - 2(x_3 + a_{34}x_4 + a_{36}x_6 - a_{3R}R)], \\ \frac{dx_4}{dt} &= x_4[1 - 2(x_4 + a_{43}x_3 + a_{4R}R)], \\ \frac{dx_5}{dt} &= x_5[1 - 2(x_5 + a_{56}x_6 - a_{57}x_7)], \\ \frac{dx_7}{dt} &= x_7[1 - 2(x_7 - a_{74}x_4 - a_{710}x_{10})], \\ \frac{dx_8}{dt} &= x_8[1 - 2(x_8 - a_{85}x_5 - a_{89}x_9)], \\ \frac{dx_9}{dt} &= x_9[1 - 2(x_9 + a_{93}x_3 - a_{96}x_6)], \\ \frac{dx_{10}}{dt} &= x_{10}[1 - 2(x_{10} - a_{108}x_8)], \\ R &= 1 - \exp(-\alpha_R t). \end{aligned} \quad (4)$$

С этой моделью было проведено два вычислительных эксперимента на 370 шагов по времени с использованием безразмерной шкалы изменчивости [0,1]. Прогнозируемые сценарии приведены на рисунках 6 и 7.

В первом эксперименте считалось, что в силу ряда условий (например, создания «финансовых пирамид») банковский капитал экономической системы начал уменьшаться, как показано на рис. 6а. Однако в силу достаточно высокого и постоянного уровня социальных гарантит уровень жизни населения, совокупный спрос и объем бюджетных средств еще некоторое время росли. Начиная с 70-го шага, уменьшение инвестиций банковского капитала в экономику достигло такого уровня (около 20%), когда падение производства, сокращение занятости и замедление роста уровня жизни привели к росту инфляционных ожиданий, предвещающих кризис.

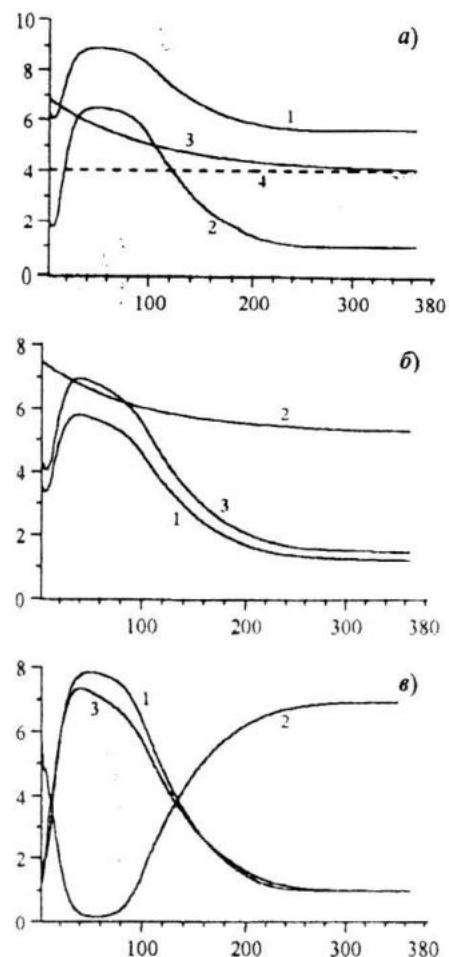


Рисунок 6 – Сценарии процессов развития в условиях постоянных социальных гарантит:
 а) 1 – бюджет X_1 , 2 – ВВП X_2 , 3 – банковский капитал X_3 , 4 – социальные гарантиты X_4 ;
 б) 1 – совокупный спрос X_5 , 2 – инфляционные ожидания X_6 , 3 – уровень жизни X_7 ;
 в) 1 – выпуск продукции X_8 , 2 – инвестиции в экономику X_9 , 3 – занятость X_{10}

Началось быстрое падение совокупного спроса, объема производства, валового внутреннего продукта и в конечном итоге произошло резкое ухудшение уровня жизни (рис. 6, а – в).

Во втором вычислительном эксперименте средства, выделяемые на социальные гарантиты, были поставлены в пропорциональную зависимость от величины бюджета для того, чтобы ослабить развитие кризиса путем перераспределения бюджетных средств. Управление сценариями развития осуществлялось таким образом, чтобы за счет сокращения расходов на социальную сферу был усилен банковский капитал и увеличены инвестиции в экономику. С этой целью на 101-м шаге вычислений была включена управляющая функция R в уравнениях для X_3 и X_4 . Результатирующие сцена-

рии развития приведены на рис. 7, а-в. Как видно из этих рисунков, несмотря на некоторое сокращение расходов на социальную сферу, уровень жизни вырос за счет восстановления объемов производства, увеличения занятости и уменьшения инфляционных ожиданий.

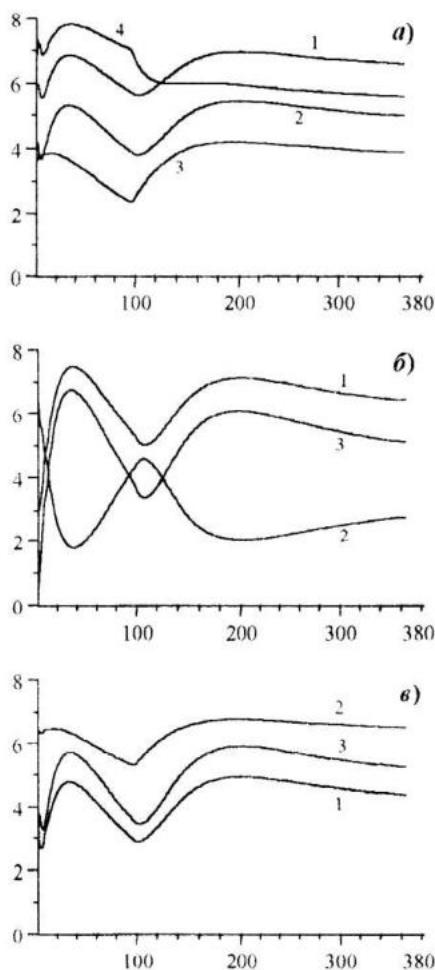


Рисунок 7 – Сценарии процессов развития в условиях зависимости социальных гарантий от бюджета:

- 1 – бюджет X_1 , 2 – ВВП X_2 , 3 – банковский капитал X_3 , 4 – социальные гарантии X_4 ;
- 1 – совокупный спрос X_5 , 2 – инфляционные ожидания X_6 , 3 – уровень жизни X_7 ;
- 1 – выпуск продукции X_8 , 2 – инвестиции в экономику X_9 , 3 – занятость X_{10} .

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что системная методология моделирования и прогноза сценариев общественно-экономического разви-

тия позволяет относительно просто строить модельные сценарии процессов развития в сложных социально-экономических системах. Подобные сценарии необходимы для поддержки административных решений, касающихся управления ресурсами развития [6]. Применение локальных управлений (агентов) в уравнениях ABC-моделей позволяет оптимизировать использование ресурсов развития, поскольку агенты отслеживают динамику прогнозируемых процессов и направляют их в соответствии с поставленными условиями.

Л и т е р а т у р а

1. Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Тимченко И.И. Системный менеджмент и АВС-технологии устойчивого развития. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. – 224 с.
2. Тимченко И.И., Игумнова Е.М., Тимченко И.Е. Образование и устойчивое развитие. Системная методология. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. – 527 с.
3. Sterman, J.D. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Irwin/McGraw-Hill, 1999. – 490 р.
4. Игумнова Е.М., Набойкина А.В., Тимченко И.Е., Тимченко И.И. Системное моделирование социальных эколого-экономических процессов. //Системы контроля окружающей среды / Сб. науч. тр. МГИ НАНУ. – Севастополь, 2008. – С. 194 – 197.
5. Тимченко И.Е., Игумнова Е.М. Устойчивое развитие и экологическая безопасность общества в экономических трансформациях. //Материалы научно-практической конференции. Бахчисарай, 15–17 апреля 2009 г. /НИИ Устойчивого развития и природопользования. – Симферополь, «Сонат». НИИ УРП. 2009. – С. 163 – 164.
6. Иванов В.А., Игумнова Е.М., Латун В.С., Тимченко И.Е. Модели управления ресурсами прибрежной зоны моря. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. – 259 с.