

УДК 519.86: 517.968

МАКРОМОДЕЛЬ ЭКОЛОГО-СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА

Л.В. Сарычева

*Национальный горный университет
49005, Днепропетровск, пр. Карла Маркса, 19
sarycheval@ntu.org.ua*

Розглянуто задачу побудови макромоделі еколого-соціально-економічної системи регіону з використанням принципу динамічного балансу. Запропоновано структурну циркуляційну схему, що відбиває взаємодію трьох основних підсистем (економіка, екологія, соціум) моделі.

Ключові слова: макромодель регіона, принцип динамічного балансу, еколого-соціально-економічна система.

The problem of macromodel construction of regional ecological-social-economic system using a principle of dynamic balance is considered. The structural circulation scheme reflecting interaction of three basic model subsystems (economy, ecology, society) is offered.

Keywords:

Рассмотрена задача построения макромодели эколого-социально-экономической системы региона с использованием принципа динамического баланса. Предложена структурная циркуляционная схема, отражающая взаимодействие трех основных подсистем (экономика, экология, социум) модели.

Ключевые слова: макромодель региона, принцип динамического баланса, эколого-социально-экономическая система

Введение. Построение математических эколого-социально-экономических (ЭСЭ) моделей требует упорядочивания и классификации имеющейся информации о существующих экономических, экологических, социальных моделях и их комбинированных модификациях. В работах [1, 2] изложены основные подходы к построению математических экономических, экологических, социальных, эколого-экономических, социально-экономических, эколого-социальных моделей и приведен обширный список литературы, посвященной изложению этих моделей.

Построение экологических математических моделей имеет много общих черт с построением экономических и социальных математических моделей.

Во-первых, при построении каждого из этих трех видов моделей применяют методы общесистемного анализа: принцип изоморфизма, позволяющий сходными математическими уравнениями описывать системы, разные по своей природе, но одинаковые по структуре и типу взаимодействия между элементами; выделение из системы отдельных структурных элементов; установление характера процессов, в которых участвует каждый элемент. Например, в экологическом моделировании часто используются балансовые компартментальные модели, когда рассматриваются потоки вещества и энергии

между составляющими модель компартаментами, содержание "вещества" в каждом из которых и представляет собой отдельную переменную системы. Этим моделям в экономике можно поставить в соответствие, например, модели межотраслевого баланса, а в социологии – модели миграции.

«Экологические» работы Вольтерра, Лотки, Гаузе и других по теории популяций можно отнести к классическим трудам общей теории систем. Концептуальные модели явлений типа «борьба за существование» доказали свою пригодность эмпирической проверкой, причем в равной степени этот факт можно отнести и к экономическим, и к социальным моделям.

Во-вторых, каждая из подсистем ЭСЭ-системы (экология, экономика, социум) состоит из взаимодействующих компонент, которые можно упорядочить в некоторую иерархическую структуру. По мере объединения компонент в более крупные функциональные единицы, у этих новых единиц возникают качественно новые "эмерджентные" свойства.

Следствием является невозможность изучения динамики экологических, экономических, социальных систем (а также сложных ЭСЭ-систем) путем их иерархического расчленения на подсистемы и последующего изолированного изучения этих подсистем, поскольку при этом утрачиваются свойства, определяемые целостностью изучаемой системы. Поэтому цель работы – построение макромоделей ЭСЭ-системы региона.

ЭСЭ-макромодель региона

Регион рассматривается как открытая система, условно разделенная на три взаимодействующие подсистемы: экономическую, экологическую и социальную. Концептуальная модель ЭСЭ-системы региона территории (рис. 1) представляет собой циркуляционную схему.

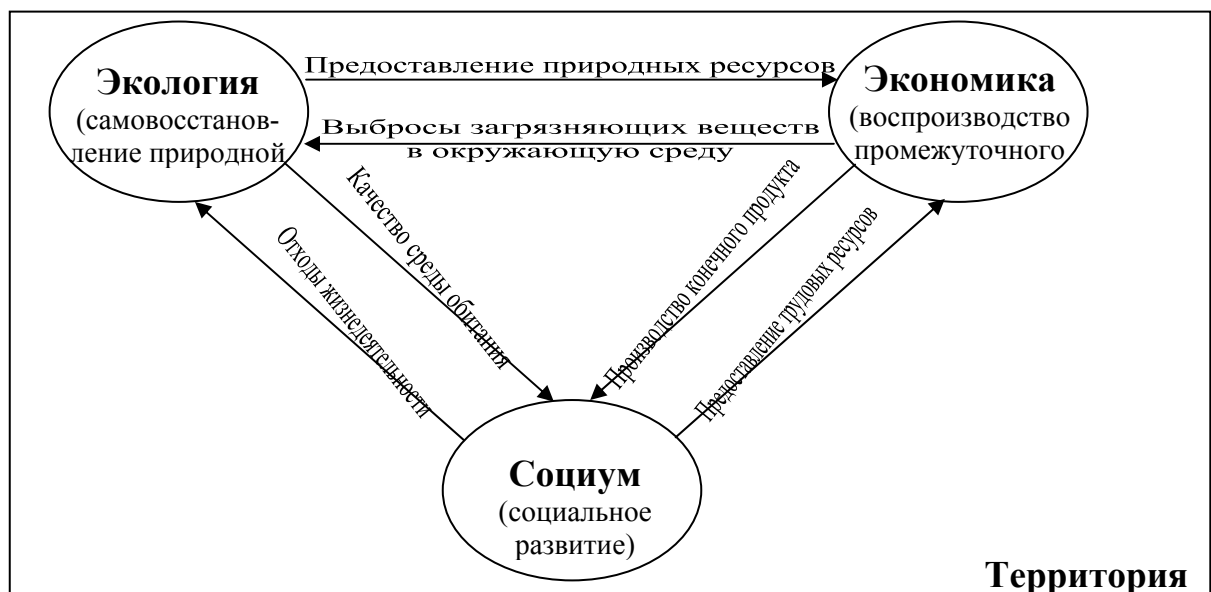


Рис. 1. Концептуальная ЭСЭ-модель региона территории

Выходные величины одной подсистемы являются входными величинами для следующей по нумерации подсистемы. Возможны также различные перекрестные связи. Имеют место процессы обмена, причем не только для всей системы, но и для отдельных ее подсистем.

ЭСЭ-модель региона можно представить в виде системы балансовых уравнений, каждое из которых описывает использование продукта, соответственно экономического, природного и социального. В свою очередь, взаимодействие каждой из подсистем друг с другом (экология-экономика, экология-социум, экономика-социум) также можно представить в виде модели более низкого уровня.

Концептуальные схемы взаимодействия подсистем «экология-экономика», «экология-социум» и «экономика-социум» предложены в работах [1, 3].

Структурная циркуляционная схема ЭСЭ-системы региона представлена на рис. 2. В ней выходные величины одного блока являются входными величинами для следующего по нумерации блока. Выходные величины блока «экономика» являются входными величинами для блока «загрязнение», а выходные величины блока «загрязнение» являются входными величинами для блока «экология» и т.д. Возможны также различные перекрестные связи. Имеют место процессы обмена, причем не только для всей системы, но и для отдельных ее подсистем.

Модель, в первую очередь, должна быть нацелена не на описание внутренней структуры и процессов отдельных блоков, а на отражение их взаимодействий и взаимозависимостей.

В экономическом блоке основными показателями являются объемы отраслевых выпусков продукции, благодаря чему экологический блок получает экзогенную информацию. Экологический блок влияет как на экономические, так и на социальные процессы. Его влияние на экономику отражается показателями экономического ущерба от загрязнения окружающей природной среды и показателями истощения запасов природных ресурсов. Влияние экологического блока на социальный прежде всего обнаруживается в показателях, описывающих здоровье (численность) населения.

При построении модели одной из ключевых проблем является проблема ее полноты, степень детализации. Имеющийся в данной области опыт разноречив.

При низкой степени детализации разработка Дж. Форрестера “Мир” [4] и ее модификации Медоуса позволили отразить основные тенденции развития техногенной системы, оперативно оценить состояние различных регионов, выработать мероприятия по снижению угрозы ресурсного кризиса. В то же время более современная Байкальская модель [5] не позволила осуществить комплекс мероприятий с подобной степенью эффективности, потому что для нормального ее функционирования требовался объем данных, качественно и

количественно превышающий возможности существовавших средств сбора, анализа и обработки информации, что и затруднило ее действенное применение.

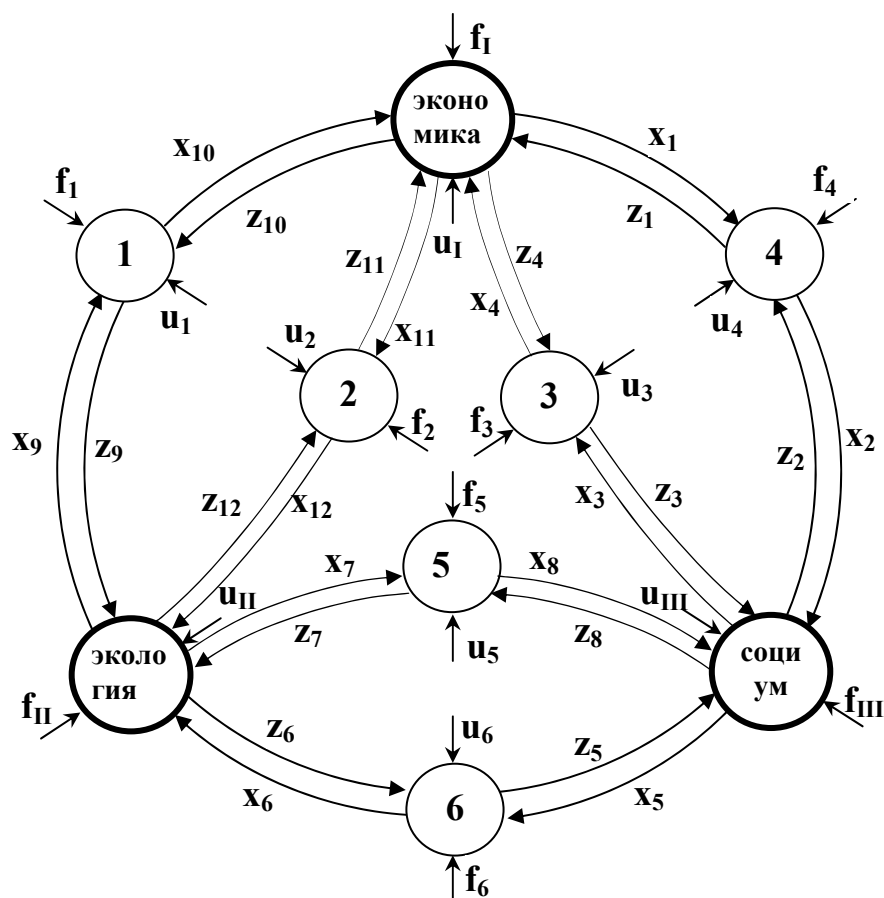


Рис. 2. Структурная циркуляционная схема ЭСЭ-системы региона

На рис. 2 приняты следующие обозначения:

I – экономика, II – экология, III – социум;

1 – добыча ресурсов и сельское хозяйство, 2 – загрязнение, 3 – трудовые ресурсы, 4 – конечный продукт, 5 – качество среды обитания, 6 – отходы жизнедеятельности;

x_1 – объемы производства товаров народного потребления, x_2 – объемы приобретенных товаров, x_3 – предложенные трудовые ресурсы, x_4 – объемы приобретенных трудовых ресурсов, x_5 – объемы бытовых отходов, x_6 – объемы ежегодных выбросов загрязняющих веществ, сопутствующих социальным процессам, x_7 – показатели качества окружающей среды, x_8 – показатели качества среды обитания, влияющие на жизнедеятельность и здоровье людей, x_9 – показатели воспроизводимых природных ресурсов, x_{10} – объемы ежегодной добычи невозобновимых и возобновимых ресурсов,

x_{11} – отраслевые объемы производства, x_{12} – объемы ежегодных выбросов загрязняющих веществ, сопутствующих производственным процессам;

z_1 – деньги за проданные товары и услуги, z_2 – деньги за купленные товары и услуги, z_3 – деньги за проданные ресурсы, z_4 – затраты на приобретение ресурсов, z_5 – затраты на преобразование отходов в экологически чистые вещества, z_6 – затраты на защиту от отходов-загрязнителей, z_7 – затраты на повышение качества среды обитания и восстановление природных ресурсов, z_8 – затраты на природоохранные мероприятия, z_9 – затраты на восстановление природных ресурсов, z_{10} – затраты на приобретение невозпроизводимых и воспроизводимых ресурсов, z_{11} – показатели экономического ущерба от загрязнения окружающей среды, z_{12} – затраты на защиту от загрязнителей;

f_1, f_2, \dots, f_{12} – внешние воздействия (централизованные капиталовложения, атмосферные и климатические воздействия и т.д.);

u_1, u_2, \dots, u_{12} – управляющие воздействия.

Определяющие свойства эколого-экономической системы сохраняются при изменении или исключении до 1/3 её элементов и взаимосвязей между ними [3]. Поэтому необходимо выбрать не только адекватную форму динамической модели ЭСЭ - системы, но и найти общие зависимости свойств системы от её структуры. В каждый момент времени в модели ЭСЭ - системы (рис. 1) соблюдаются некоторые балансные зависимости между переменными, по своей сути аналогичные законам сохранения в физических системах. Условия баланса можно трактовать, как некоторые интегральные инварианты систем («без инвариантов нет системы»).

Балансность, связанная с процессами обмена, обуславливает основные свойства ЭСЭ-систем: а) саморегулирование (гомеостатизм), б) статическая устойчивость, в) отрицательное перерегулирование, г) локальное равновесие, д) эффект структурного и динамического разнообразия подсистем, е) продуктивность и т.д. Основная задача при разработке ЭСЭ-модели региона – учесть эти основные свойства, определить точки стыковки различных блоков модели. Дальнейшая углубленная разработка отдельных блоков «узкими» специалистами позволит создать инструментарий для принятия решений.

Концептуальной ЭСЭ-модели (рис. 2) соответствует математический аппарат многомерных динамических балансных систем. Синтезируемая ЭСЭ-модель представляется в виде некоторой динамической сети, состоящей из взаимосвязанных резервуаров, причем связи между ними представляют собой некоторые потоки, зависящие как от текущего состояния элементов системы, так и от текущих значений внешних воздействий.

Математическая модель такой ЭСЭ-системы описывается системой линейных дифференциальных уравнений с вырожденной матрицей коэффициентов, т.е. системой балансного типа.

Теоретическое исследование динамических балансных систем, с точки зрения возникающих в них системных эффектов, начато сравнительно недавно [2, 6, 7]. Аналитически исследованы динамические, статические и структурные особенности решений таких систем уравнений. Получаемые решения позволяют прежде всего отразить в модели процессы саморегулирования и координации, которые являются определяющими для ЭСЭ-системы и ее подсистем.

Выявлены другие важные системные эффекты, условия существования которых могут быть установлены исходя из анализа решений дифференциальных уравнений указанного выше типа. К таким эффектам относятся: уменьшение порядка характеристического полинома системы по сравнению с ее дифференциальным порядком (т.е. числом уравнений модели), статическое и стационарное равновесие (причем их существование зависит от направления вектора внешних воздействий), отрицательное перерегулирование (фальстарт), локальное равновесие (двойной баланс) для каждого элемента системы в установившемся режиме и др.

Для построения первого приближения ЭСЭ-модели региона, отвечающей структурной циркуляционной схеме ЭСЭ-системы, используется принцип динамического баланса.

Предполагается, что скорость изменения любой выходной величины ЭСЭ-системы (рис. 2) зависит только от текущих значений выходных величин и текущих значений внешних воздействий:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + f(t), \quad x(0) = 0, \quad A = \{a_{ij}\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где x , f – n -мерные векторы выходных величин и внешних воздействий соответственно, a_{ij} – удельная скорость изменения i -той переменной под влиянием j -той переменной (если $a_{ij} > 0$, то скорость роста, а если $a_{ij} < 0$, то скорость распада). Диагональные коэффициенты при $a_{ii} < 0$ определяют величину собственного времени распада ($T_i = 1/a_{ii}$), а при $a_{ii} > 0$ – скорость неограниченного роста i -того элемента.

В терминологии Форрестера [8] уравнение (1) является моделью некоторой динамической сети – совокупности n резервуаров. Выходная величина резервуара называется уровнем, а входная – расходом. Результирующий расход определяется разностью притоков ($a_{ij}x_j > 0$ и $f_i > 0$) и оттоков ($a_{ij}x_j < 0$ и $f_i < 0$).

Пусть система такова, что при отсутствии внешних воздействий и при ненулевых значениях выходных величин подсистем уменьшение какой-либо одной из этих величин компенсируется соответствующим увеличением скоростей изменения выходных величин других подсистем, структурно связанных с ней. Тогда существует такой вектор \mathbf{q} , что:

$$\mathbf{q}^T \frac{d\mathbf{x}}{dt} = 0, \quad \mathbf{q}^T = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}, \quad q_i > 0,$$

и справедливо уравнение баланса (сумма текущих значений переменных равна сумме их начальных значений):

$$\mathbf{q}^T \mathbf{x}(t) = \mathbf{q}^T \mathbf{x}(0). \quad (2)$$

При учете внешних воздействий и нулевых начальных значений переменных условие (2) приводит к следующему уравнению (сумма текущих значений переменных равна сумме интегралов от внешних воздействий):

$$\mathbf{q}^T \mathbf{x}(t) = \mathbf{q}^T \mathbf{F}(t), \quad \mathbf{F}(t) = \int_0^t \mathbf{f}(\tau) d\tau. \quad (3)$$

В общем случае число таких балансов (законов сохранения, действующих в системе) $b \geq 1$, векторы коэффициентов балансов (2), (3) образуют матрицу \mathbf{Q} :

$$\mathbf{Q}^T \mathbf{x}(t) = \mathbf{Q}^T \mathbf{x}(0), \quad \mathbf{Q}^T \mathbf{x}(t) = \mathbf{Q}^T \mathbf{F}(t).$$

Тогда матрица \mathbf{A} коэффициентов уравнения (1) – вырожденная (ранга $m=n-b$), имеет b левых и правых нуль-векторов:

$$\mathbf{Q}^T \mathbf{A} = \mathbf{O}, \quad \det \mathbf{Q}^T \mathbf{Q} > 0,$$

$$\mathbf{A} \mathbf{V} = \mathbf{O}, \quad \det \mathbf{V}^T \mathbf{V} > 0,$$

$$\det \mathbf{Q}^T \mathbf{V} \neq 0,$$

где \mathbf{V} – матрица автономного равновесия системы, определяющая подпространство возможных установившихся значений переменных.

При этом существует такая возможная область начальных отклонений балансной системы, при которых переменные возвращаются к своим исходным значениям. В этом заключается важное свойство саморегулирования, отличающее ЭСЭ-системы.

Выводы

Макромодель ЭСЭ-системы региона, учитывающая экологически безопасное сбалансированное функционирование основных ее элементов, основанная на принципах динамического баланса и сети резервуаров Форрестера, описывается системой линейных дифференциальных уравнений с вырожденной матрицей коэффициентов. Предложенный подход позволяет отразить в модели процессы саморегулирования, характерные для ЭСЭ-системы региона.

Литература

1. Сарычева Л.В. Компьютерный эколого-социально-экономический мониторинг регионов. Математическое обеспечение: Монография. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2003. – 222 с.
2. Методические подходы к выбору стратегии устойчивого развития территории: В 2-х т. / Под ред. А.Г. Шапаря. Днепропетровск, 1996.– Т.1.– 162 с., Т.2. – 170 с.
3. Моделирование некоторых экономических процессов на основе принципа динамической координации /Бойчук Л.М., Кротов Г.И., Сарычев А.П.: Препр. Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины.– Киев, 1994. – 48 с.
4. Форрестер Дж. Мировая динамика. – М.: Наука, 1978. – 168 с.
5. Эколого-экономическая стратегия развития региона: Математическое моделирование и системный анализ на примере Байкальского региона /В.Е. Викулов, В.И. Гурман, Е.В. Данилина и др.– Новосибирск: Наука.– 1990.– 184 с.
6. Бойчук Л.М. Балансные динамические системы и исследование их статической устойчивости и гомеостатизма на основе решения задачи Р. Беллмана // Автоматика.–1991.–№3.– С. 50-61.
7. Бойчук Л.М. Построение динамических моделей развития города на основе принципа балансирования // Кибернетика и вычисл. техника. – 1993. – Вып. 97. – С.91-96.
8. Форрестер Дж. Динамика развития города.– М: Прогресс, 1974. – 287 с.