

ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

УДК 574.4

Волошин В.С.¹, Елистратова Н.Ю.²

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ МОДЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

Показана роль прогнозирования состояния природной среды урбосистем, история развития и специфика природоохранных прогнозов на базе создания моделей динамических систем различной сложности, обобщены основные направления совершенствования методологических подходов к созданию математических моделей экосистем промышленно развитых городов, а также приоритетные направления оздоровления экологии города.

Сегодняшний взгляд на взаимодействие промышленных городов с окружающей средой претерпевает наглядную трансформацию в связи с возросшим вниманием со стороны общества к качеству среды обитания и необходимостью развития более рационального природопользования и ресурсопотребления на принципах устойчивого развития.

Современные урбосистемы являются активной составляющей экосферы промышленно ориентированных регионов. Наиболее важным свойством их, как субъекта экосферы, является способность, становится центром критического состояния, которое выражается в постоянном, негативном воздействии на окружающую природную среду и угнетении всех остальных частей экосистемы. Результатом этого являются нарушение природного равновесия экосферы, снижение показателя экологической ёмкости, а иногда почти полная её деформация непригодность для воспроизводства биоты. При этом территория, влияния и жизненных интересов урбосистемы, расширяется за счет вторичной зоны загрязнений, увеличивая воздействие на прилегающие аграрные районы, их обеднение, отчуждения биологически ценных земель в пользу урбоструктур (под градостроение, технологические объекты и городские свалки), истощения сырьевых ресурсов.

Вместе с тем, экосфера урбанизированной территории – сложная природная, саморегулирующаяся система, внутри которой создаются перегрузки природных защитных механизмов, деградация которых может порождать состояния неустойчивости равновесных колебаний экологической системы и катастрофных явлений, способных влиять на производственную, экономическую, социальную деятельность, степень привлекательности города для проживания в нем и миграции населения [1].

Между этими двумя сторонами существует многофакторная связь, определяющая динамику системы в целом. Что позволяет рассматривать ее, как комплексную, динамическую систему, в которой внутренние и внешние зависимости между элементами нелинейны, процессы, протекающие в ней недетерминированы, стохастичны и не допускают однозначного описания.

Методологической базой прогнозирования направлений развития подобных сложных динамических систем является создание математических моделей, разработанных на основе методов или уравнений системной динамики.

Целью работы является обобщение основных направлений совершенствования методологических подходов к созданию математических моделей экосистем промышленно развитых городов.

Аналитические основы построения математической модели социально-экономических систем представлены в работе [2]. Автор показал, что сложные динамические системы характеризуются наличием цепей обратных связей – положительных и отрицательных – между взаимовлияющих друг на друга элементами системы – уровнями. Изменение уровней показателей

¹ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

²ПГТУ, ст. преп.

зависит от связанных с ними темпов потоков. Характер функциональной зависимости может быть определен на основании эмпирических коэффициентов. Нормативные темпы и уровни показателей определяются исходя из условно принятых значений на момент наиболее благоприятного состояния системы.

Основу построения математической модели составляют уравнения системной динамики, где переменные уровни показателей (рост загрязнений, прирост населения, распределение фондов и др.) определяются как

$$dX(t)=X(0)+[T(x_i) - T(x_j)]dt, \quad (1)$$

где $X(0)$ – начальный уровень показателя;

$T(x_i)$ – темп прироста показателя за период времени dt ;

$T(x_j)$ – темп убыли показателя за период времени dt ;

Темпы прироста и убыли показателей зависят от базисного уровня $X(0)$ и значений нормативных темпов, прироста и убыли $T(x_i)$, определяемых цепочками обратных связей стабилизирующего (Z) и развивающего (Y) свойств

$$T(x_{ij}) = X(0) \cdot f[T(x_i), Z, Y] \cdot \prod_{i=1}^t m, \quad (2)$$

где f – логическая функция переключения;

m – значение модифицирующих множителей зависимости между соответствующими темпами и уровнями показателей.

Относительные уровни показателей системы (плотность населения, относительное загрязнение, распределение загрязнений, относительная величина фондов в производственной сфере и др.):

$$R(x) = X(t)/E(x) \quad (3)$$

Нормативные уровни показателей $E(x)$ задаются в соответствии с граничными условиями задачи.

В дальнейшем, при решении задач прогнозирования, широкое использование получили модификации системных уравнений, включающих основные уровни: население, основные фонды, доля фондов в сельском хозяйстве, загрязнения окружающей среды, невозобновляемых природных ресурсов и др. [1, 3, 4].

Примером такого подхода к оценке взаимосвязей подсистем городской среды может служить модель «человек – окружающая среда», предложенная Европейской комиссией (г. Брюссель) [4]. Модель городской среды рассматривается как замкнутая система (в административных границах), где различают пять переменных или «целевых полей»: 1) экологическая (природные ресурсы города-водоемы, воздух, свободные земли); 2) жилая (здания, спортивные сооружения, сооружения обслуживания); 3) трудовая (производственные предприятия и зоны, находящиеся под их влиянием); 4) сфера отдыха (имеет двоякую ориентацию – на жителей города и туристов); 5) сфера устранения твердых отходов и очистные сооружения. В работе подчеркнута важность выработки единых требований к программам измерения, контроля и унификации исходных данных при создании моделей (в виде программ для ЭВМ). Однако упрощение по фактору замкнутости системы не позволяет в подобных моделях определение упорядоченности внешних и внутренних взаимосвязей элементов, что значительно сужает возможности прогнозирования.

Последующее развитие моделей системной динамики шло несколькими направлениями: по характеристике оригинала (прототипа), по характеристике модели или уровню моделирования и др., с использованием математических, стохастических, графических методов и их сочетаний.

По способу построения экологические модели, разработанные в конце 80 – 90 гг. двадцатого столетия выделяются две крупные группы: балансовые и статистические.

В балансовых математических моделях рассчитывают изменение количества вещества или энергии на выходе из системы, в зависимости от изменений входных параметров и особенностей самой системы. В частности, при построении матричной модели «Хитачи» (Япония), осуществлена комплексная оценка состояния городской среды с учетом прямых и обратных связей в системе «человек – окружающая среда». Где вес каждого фактора в процессе построения задан экспертной оценкой лица, принимающего решения в данной отрасли городского хозяйства [6].

Использование статистических моделей основано на математической обработке массивов данных с целью восстановления непрерывных интерполяционных пространственно-временных зависимостей, без выявления причин их изменений характерно для нестационарных и неоднородных природных экосистем, находящихся на территории урбосистемы и городских подсистем, по данным «коротких» временных наблюдений их параметров. Их использование позволило создать методики и схемы категорирования состояния природной среды урбосистем или их отдельных компонентов.

Так, например, моделирование состояния окружающей среды проведено по группам регламентируемых параметров: воздуха, воды, твердых отходов (метод «ограниченного элемента») [7 – 9], либо только для групп экономических факторов [10, 11].

В большинстве данных работ, не сформулировано единых методологических подходов определения упорядоченности взаимосвязей, позволяющих обобщить их результаты с результатами исследований других авторов.

Очевидна проблематичность учета традиционными методами моделирования таких неопоставимых, но тесно взаимосвязанных характеристик, как качество жизни и уровень потребления экологически чистой продукции, интенсивность потребления ресурсов, устойчивость загрязнения и экологическая емкость региона [12]. В этих условиях особенно остро стоит проблема описания систем с многофакторными неопоставимыми характеристиками и свойствами их элементов, какими являются урбосистемы.

По цели построения преимущественное развитие получили оптимизационные модели, которые являются эффективными при определении оптимальных значений входных параметров экосистемы и необходимых управляющих воздействий для их достижения. Математические модели подобного типа, зачастую, представляют собой систему субмоделей, где конечный результат оценка экономического ущерба, возникающего вследствие поступления загрязняющих веществ из конкретного источника.

Так в исследовательских работах при создании региональных экологических Программ по уменьшению загрязнений воздушного бассейна металлургическими предприятиями Приазовья, проведен анализ с учетом всех промышленных источников выбросов вредных веществ. (Комплексная программа по сокращению выбросов в атмосферу на ОАО «ММК им. Ильича» и ОАО «МК «Азовсталь». 1999 г.). Предложен вариант снижения пылегазовых выбросов в атмосферу за счет ремонтно-профилактических мероприятий, оптимизации затрат при строительстве и эксплуатации очистных сооружений. Оптимальное решение подразумевало рациональное распределение финансирования и работ по очистке между источниками загрязнения.

Следует признать, что при существующих масштабах техногенной нагрузки в отдельных промышленных регионах решение проблем оздоровления окружающей природной среды чисто природоохранными мероприятиями уже невозможно и является лишь вспомогательной мерой на пути к достижению нормативных показателей по загрязнению. В работе практически не учитываются такие динамические факторы, как возможное изменение структуры сырьевых ресурсов в направлении их обеднения, влияние предполагаемого увеличения энергопотребления на рост техногенной нагрузки, инвестиционная деформация в металлургии. Отсутствие учета подобных аспектов значительно корректирует прогнозируемые результаты любой природоохранной деятельности в сторону их ухудшения.

Анализ последних публикаций и достижений реальных перспектив снижения техногенной нагрузки урбосистем на окружающую природную среду показал эффективность таких мер, как реструктуризация производственной структуры, корректировки приоритетов в хозяйственной деятельности, и инвестиционной политики, проведения разумной социальной политики.

При этом наибольшую адекватность имеют модели, в которых рассматривается вся совокупность факторов, определяющих состояние окружающей среды: социально-экологических, технических, сельскохозяйственных, демографических [13, 14]. А также, использующие экологические критерии: степень изменения природной среды (характеристики отклонений параметров от естественных); степень истощения природных ресурсов, количественная и качественные характеристики состояния природных ресурсов; показатели здоровья населения (повышение заболеваемости и смертности, свидетельствующее о социальном, экономическом или экологи-

ческом дисбалансе в городской среде); показатели поведения человека, которые во многом зависят от восприятия им городской среды [15].

Необходимо также учитывать, что для рассматриваемых систем свойственны динамические явления критического порядка. Это способность вхождения экосистемы в неустойчивое равновесное состояние автоколебаний или бифуркации. Динамический выход системы из таких состояний традиционными методами становится невозможным.

В этой связи, в отдельный вид выделены недетерминированные системы с наличием непериодических процессов поведения и осознаны принципиальные ограничения в проблеме долгосрочного прогноза.

Примером может являться модель регионально-эколого-экономической системы, основанная на следующих базисных структурах: 1) ресурсы системы, как обязательный конструктивный элемент системы; 2) среда системы, выступающая в качестве носителя функций преобразования ресурсов; 3) функции состояния среды. К ним относятся производственные процессы, процессы утилизации, обеспечения жизнедеятельности людей, изменения дислокации элементов системы и др.; 4) отношения – ресурсные, информационные, временные и пространственные потоки между функциями, характеризуются интенсивностью [16].

Основные массивы данных по составляющим элементам такой модели могут быть представлены только в виде нестационарных, временных рядов. Функция состояния среды имеет характер трендов непериодической функции.

Таким образом в сложных динамических системах с хаотическим поведением возникает явление, определяемое как горизонт предсказуемости. Данное свойство – результат чувствительности к начальным (исходным) данным («эффект бабочки»). Одно из направлений решения задачи по описанию таких моделей состоит в анализе стабильной части траектории трендов (участков, где возможен прогноз), исследование моментов бифуркации и дальнейших сценариев развития системы [17].

Управление такими моделями, в равной степени, как и использование с целью прогностических исследований традиционными методами весьма затруднено. Однако, отражение этих свойств, в моделируемых процессах повышает их точность и надежность как инструмента прогнозирования. И важным вопросом при разработке методологии системной динамики и исследовании процессов вхождения больших систем в неустойчивые автоколебательные режимы является необходимость совершенствования механизмов распознавания и управления автоколебательными процессами в урбосистемах.

Выводы

1. Природоохранные прогнозы экосистем промышленных городов эффективны при использовании моделей, в которых учитываются две группы факторов, определяющих динамику этих систем: параметры состояния окружающей природной среды, в частности уровень загрязнений, условия ресурсообеспечения, рекреационные способности системы; социально-экономические показатели состояния урбосистемы в том числе показатели по промышленности, сельскому и коммунальному хозяйству, инфраструктуре, демографические показатели и др.
2. Решение экологических проблем критического порядка в развитых урбосистемах традиционными методами очистки и утилизации загрязнений бесперспективны. Радикальное оздоровление окружающей среды в крупных промышленных регионах возможно только в направлении реструктуризации производственной сферы и регулирования экономической системы региона, с учетом совокупности социальных и экологических показателей.
3. Основными направлениями совершенствования методологических подходов к созданию математических моделей экосистем промышленно развитых городов являются: разработка методики определения упорядоченности внутренних и внешних взаимосвязей; формализованное описание несопоставимых характеристик и свойств их элементов, с учетом процессов, связанных с неустойчивостью отдельных областей управления в нелинейных системах.

Перечень ссылок

1. Семенченко П.М. Управление природопользованием в современных урбосистемах / П.М. Семенченко. – Донецк: Донеччина, 1998. – 264 с.
2. Форрестер Дж. Мировая динамика: Пер с англ. / Дж. Форрестер. – М.: Наука, 1978. – 164 с.
3. Геловани В.С. Решение одной задачи управления в глобальной динамической модели Форрестера. / В.С. Геловани, В.П. Егоров. – М.: препринт ИПМ АН СССР, 1974. – 23 с.
4. Волошин В.С. К вопросу об экологической реконструкции экономических систем / В.С. Волошин // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1995. – № 1. – С. 26 – 29.
5. Кожевникова Р.К. Прогнозирование состояния и охраны окружающей среды / Р.К. Кожевникова. – Минск: БелНИИНТИ, 1981. – 36 с.
6. Лаврик В.И. Методы математического моделирования в экологии / В.И. Лаврик. – Киев: Фитоцентр, 1998. – 117 с.
7. Бурматова О.П. Учет требований охраны природной среды и воспроизводства ресурсов в моделях формирования ТПК. – В кн.: Методы анализа и модели структуры территориально-производственного комплексов. – Новосибирск: Наука, 1979. – 236 с.
8. Новиков Р.А. О механизме регулирования охраны окружающей среды от загрязнения / ИМЭМО АН СССР. / Р.А. Новиков // Сер. Экологические проблемы в современном мире. Вып. 2. – М., 1991. – 53 с.
9. Гофман К.Г. Охрана окружающей среды: модели управления чистотой природной среды / К.Г. Гофман, А.А. Гусев. – М.: Экономика, 1988. – 231 с.
10. Иванов А.В. Развитие методов эколого-экономической оценки формирования среды обитания урбанизированных территорий: автореф. дис...канд. экон. наук: 08.00.05 / А.В. Иванов; ВИЭМС. – Москва, 2006. – 29 с.
11. Казанцева М.И. Совершенствование механизма экологической модернизации экономики региона: автореф. дис...канд. экон. наук: 08.00.05 / М.И. Казанцева; Удмуртский государственный университет. – Ижевск, 2006. – 25 с.
12. Волошин В.С. Методические подходы к формированию баз данных для моделей системной динамики применительно к современным урбосистемам / В.С. Волошин, Т.Г. Данилова // Вестник Приазов. гос. техн. ун-та: Сб. науч. тр. – Мариуполь, 1998. – Вып. № 6. – С. 333 – 337.
13. Раяцкас Р.Л. Окружающая среда и проблемы планирования / Р.Л. Раяцкас, В.Н. Суткайтис. – М.: Наука, 1981. – 272 с.
14. Раяцкас Р.Л. Моделирование экономической динамики с учетом загрязнений окружающей среды / Р.Л. Раяцкас, В.Н. Суткайтис // Экономика и математическое моделирование. – 1979. – Т. 15. – Вып. 1. – С. 45 – 57.
15. Социально-экологические системы как объект управления / Г.А. Бачински, В.И. Мамонов, и др. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. – 238 с.
16. Быков А.А. Моделирование природоохранной деятельности: Учеб. пособие / А.А. Быков. – М.: Изд-во НУМЦ Госкомэкологии России, 1998. – 147 с.
17. Михайлик Ю.Б. Математические основы повышения точности прогнозирования количественных характеристик процессов (в технике, экономике, экологии, социологии, бизнесе) / Ю.Б. Михайлик. – М.: Научтехлитиздат, 2000. – 246 с.

Рецензент: В.А. Маслов
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 26.02.2009