

УДК 504:338.32.053.2

РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПАРАДИГМЕ УПРАВЛЕНИЯ

А. М. Ольшанский¹, И. П. Шиманчик²

¹ Сибирская академия финансов и банковского дела
Россия, 630051, Новосибирск, Ползунова, 7
E-mail: lexolshans@gmail.com

² Институт экологии Волжского бассейна РАН
Россия, 445003, Тольятти, Комзина, 10
E-mail: geoid76@mail.ru

Поступила в редакцию 18.05.12 г.

Развитие эколого-экономических систем в парадигме управления. – Ольшанский А. М., Шиманчик И. П. – Предложена структурная схема и подходы к построению математической модели экологической и преобразующей подсистем эколого-экономической системы с учетом особенностей ее поведения и дальнейших управленческих воздействий.

Ключевые слова: эколого-экономическая система, управление.

Development of ecological-economical systems within a control paradigm. – Olshansky A. M. and Shimanchik I. P. – A structural scheme and approaches to constructing a mathematical model of the ecological and transformation subsystems of an ecological-economical system in view of features of its behavior and further control impacts are given.

Key words: ecological-economical system, management.

Развитие экономики в современную эпоху по-прежнему осуществляется главным образом в направлении дальнейшей эскалации нагрузок на окружающую среду при появлении качественно новых рисков и угроз. Продолжается увеличение интенсивности потребления природных ресурсов, и на этом фоне проводимые мероприятия по ресурсосбережению не создают значительного эффекта. Кроме того, сама модернизация промышленно-производственных, аграрных и транспортных систем с учетом экологических императивов приводит к росту трудоемкости и наукоемкости продукции, что требует от бизнеса нести дополнительные затраты, компенсировать которые бизнес (при сохранении текущего уровня рентабельности активов) старается через увеличение масштаба деятельности, что создает дополнительную нагрузку на системы. В этой связи актуальным представляется требование о принятии сбалансированного решения между текущим потреблением и сохранением окружающей среды для будущих поколений, об экологической ответственности и разумных ограничениях, устойчивом развитии.

Бесспорно, что такой подход в целом верен, но хочется заметить, что в рамках действующей сегодня *de facto* парадигмы противопоставления между природными компонентами системы и экономической системой, вне зависимости от вида и специфики последней, нельзя найти достойного компромисса в этом вопросе. Да и сами экологические требования и формулировки оказываются не вполне четкими.

Например, понятие «устойчивое развитие», применяемое к эколого-экономическим системам, не имеет строгого определения (Розенберг, 2009). Как известно, можно выделить два вида устойчивости: *устойчивость резистентную* – способность системы выдерживать разовое воздействие определенной интенсивности, и *устойчивость упругую* – способность экологической системы к релаксации (Куприянова, 1983; Гашев, 2000, 2001; Коновалов, 2000). Характер математических моделей как одного, так и другого процесса принципиально различен. Уже здесь возникает вопрос, какой из типов развития считать устойчивым. Кроме того, стоит упомянуть о противоположных значениях термина «устойчивость» в смысле собственнo математическом (Краснощечков, Розенберг, 1992) и в экологическом («устойчиво вымирающая популяция», например, математически всех очень устраивает).

Говорить о поддерживаемом развитии, переводимом иногда как «sustainable development», также некорректно, так как границы этой поддержки четко не задаются (Розенберг, 2009). До сих пор существуют расхождения о силе влияния антропогенных факторов, например, того же углекислого газа. Следовательно, вопрос интенсивности, на которой необходимо фиксировать степень использования ресурсов, также остается открытым.

В таких условиях становится ясным, что исследования сложных систем в существующей парадигме не приведут к прорывным результатам, но рискуют со временем дискредитировать сам смысл комплексных исследований. Для того чтобы добиться реальных действий в пользу экологических компонентов исследуемых систем, необходимо осуществить смену парадигмы исследования, перейдя от парадигмы противопоставления антропогенных систем и природных систем в рамках модели эколого-экономической системы к парадигме согласованного управляемого развития при наличии определенных ограничений на управление.

Одним из первых мысли о необходимости исследования эколого-экономических систем были высказаны В. Н. Сукачевым и поддержаны В. Б. Сочавой (Сочава, 1952). Научная база для проведения таких исследований сейчас находится в процессе развития и связана она с появлением и бурными скачками в методах теории управления и искусственного интеллекта (Назаров, Лоскутов, 2003; Пантелеев, Бортакoвский, 2003; Сирота, 2006). Переход к управленческой парадигме позволит конкретизировать ответы на вопросы, поставленные человеком (конечным пользователем) перед социально-экономической системой с позиции многокритериального управления по выбранным критериям оптимальности.

Несмотря на различные трактовки категории «оптимальность управления» экологической или эколого-экономической системой в части того, какое именно состояние считать оптимальным, с помощью критериев оптимальности можно более четко формулировать требования к нашей системе, нежели сегодня, при использовании определенных задаваемых внешне величин и норм. Также переход к управленческой парадигме позволит существенно изменить принципы нормирования качества окружающей среды, сделав значения ПДК/ПДВ/ПДУ ближе к реальной скорости протекания процессов в каждой экосистеме, и, в идеале, перейти к политике дифференцированного установления качества окружающей природной среды.

В пользу предлагаемой парадигмы говорит тот факт, что существуют классические *жесткие* и *мягкие* математические модели экологических систем и процессов, начиная от Дж. Форрестера и заканчивая, например, академиком В. И. Арнольдом, которые показывают необходимость введения в систему природопользования отрицательных обратных связей. Поэтому в качестве основного объекта исследования в данной статье выбирается математическая модель единой (единство с позиции общего контура управления) системы, в которой отдается приоритет природной подсистеме, обобщенно именуемой ландшафтом, испытывающим на себе воздействие в результате деятельности человека по преобразованию эколого-экономической системы.

Цель статьи – построить структурную схему и математическую модель экологической и преобразующей подсистем эколого-экономической системы, определить основные особенности поведения такой системы для дальнейших действий. Под дальнейшими действиями, которые являются самостоятельными задачами, можно считать:

- оценку наблюдаемости и управляемости подсистем и системы в целом;
- исследование условий устойчивости данной эколого-экономической системы в целом и ее компонентов;
- синтез управлений экономической и экологической частями системы и системой в целом по заданным критериям.

Общая идеология исследований такова, что нагрузка на систему, которую оказывает общество на экологические компоненты, определяется во многом *рыночным спросом*, который, для целей настоящей статьи, не разделяется на компоненты, а рассматривается как обобщенная величина, некоторый *совокупный спрос*. От объема совокупного спроса зависит процесс производства продукции (совокупное предложение), следовательно, и динамика воздействия на окружающую среду. *Произведенная продукция* с учетом инфляционных и индуцированных экономических факторов реализуется, создавая валовой внутренний продукт (great domestic product), часть которого направляется на сохранение окружающей среды, а часть – возвращается в виде совокупного спроса. Предлагаемая структурная схема может быть применена к оценке эколого-экономической системы территории любой размерности.

Эта структурная схема эколого-экономической системы состоит из двух соединенных контуров управления, первый из которых описывает поведение экономической подсистемы, а второй – ландшафтной (рис. 1).

Экономическая подсистема задается с учетом следующих положений.

П1. Спрос в экономической системе является функцией от дохода населения, т. е.

$$D(t, R) = f(t, R(t)). \quad (1)$$

П2. Предложение реагирует на спрос с определенным лагом, или

$$S(t, D) = f(t, D(t - \tau)), \quad (2)$$

где τ – время запаздывания реакции предложения на изменение спроса, определяемое технологическим укладом экономики.

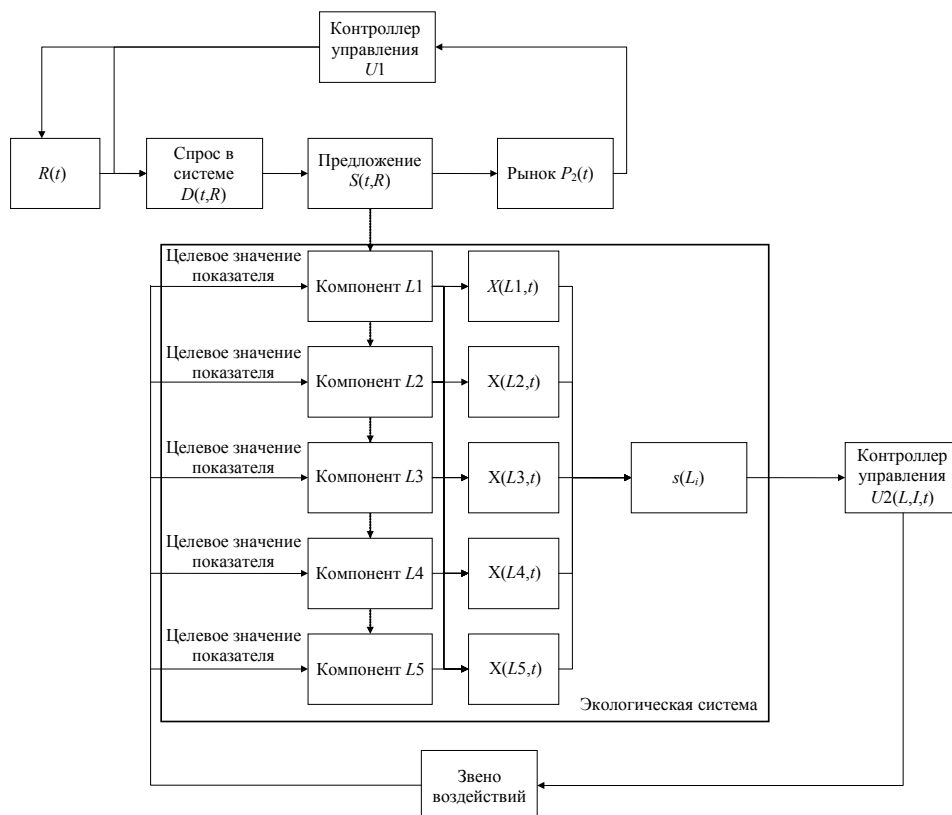


Рис. 1. Принципиальная схема эколого-экономической системы

ПЗ. Предложение реализуется на рынке, причем по некоторой цене $P_2(\cdot)$, изменяющейся во времени. Образованный результат укрупненно считается совокупным валовым внутренним продуктом, который распределяется на различные нужды, в том числе на обеспечение экологической безопасности:

$$\begin{aligned} P_2(t) &= f(D(t), S(t)), \\ V(t, D) &= f(t, D(t), S(t), P_2(t)), \end{aligned} \quad (3)$$

где $R(t)$ – величина совокупного дохода системы, $D(t)$ – величина спроса в системе, $S(t)$ – величина предложения в системе.

На каждый из приведенных в подсистеме блоков могут оказываться внешние воздействия. Реакция системы фиксируется и подается на контроллер управления

$U1$, который и будет определять в итоге стратегии управления экономической подсистемой по заданным критериям.

Обобщенное представление ландшафта как второй части эколого-экономической системы базируется на существовании пяти взаимосвязанных традиционных компонентов ландшафта, в общем смысле обозначаемых на схеме через множество $\{L1, \dots, L5\}$. Каждый компонент ландшафта характеризуется набором параметров, вектор которых обозначен как $X(L_i, t)$. Предполагается полное взаимное влияние всех компонентов ландшафта друг на друга, однако для каждой конкретной задачи набор компонентов и связей между ними будет отличаться. Производственный блок (а также блок потребления) оказывает на все компоненты ландшафта определенное воздействие, что соответствует пунктирным стрелкам на рис. 1. Это воздействие «воспринимается» ландшафтом, «обрабатывается» (причем существует в каждом случае отдельная математическая модель реакции-отклика, находямая в рамках задачи «определение выхода системы по входу») и «подается» вместе с реакцией на блок-решатель, обозначенный на схеме как « $s(L)$ ». Этот блок оценивает степень критичности влияния и принимает решение о том, учитывать или нет сложившееся изменение в рамках сформулированной проблемы. Если согласно критериям пользователя требуется отыскать управление таким ландшафтом, то активизируется блок «Контроллер управления $U2$ », определяющий конкретный закон управления. Этот закон управления преобразуется затем к множеству связанных между собой действий по преобразованию системной среды.

Следует отметить, что первоначально все подсистемы представлены как подсистемы с обратной связью. Отступление от этого правила может делаться только при наличии серьезных препятствий неустранимого характера.

Ценность предложенной схемы состоит и в том, что авторы могут поставить обратную задачу – задачу такого развития экономической подсистемы, при которой будут соблюдаться экологические ограничения и требования.

Авторами были изучены различные физико-географические концепции ландшафтов (Мильков, 1956; Солнцев, 1960; Исаченко, 1962, 1985; Федина, 1973). Ни одна из них не может быть переведена без ущерба на язык системного анализа и использована в качестве базиса для моделирования и решения поставленных задач при размышлении в парадигме управления. Тем не менее, развивая концепции А. Д. Арманда и Д. Л. Арманда, можно рассмотреть ландшафт как систему, состоящую из двух контуров, имеющих сложный характер.

Ландшафт можно представить как «своеобразную» систему управления (рис. 2). Термин «своеобразная» авторами взят в кавычки, чтобы избежать обвинений в механистичности и отделить от стереотипов управления техническими системами.

Система функционирует следующим образом: существуют два контура управления, объединенных между собой пулом детрита. Первый контур, включающий в себя собственно геом, педосферу и пул детрита, характеризующийся множеством $\{C_i\}$ концентраций веществ и элементов. На этот контур действуют физические факторы, перечисленные на входе в геом. Измерение концентраций и их динамика подается на блок решателя, который, в зависимости от заложенных алгоритмов, принимает решение о том или ином типе управления. Характер решателей, пред-

ставленных на рис. 2, является сложной задачей, требующей самостоятельного решения. Здесь могут использоваться правила нечеткого вывода, генетические алгоритмы или нейронные сети, или конструкции из них и т. п.

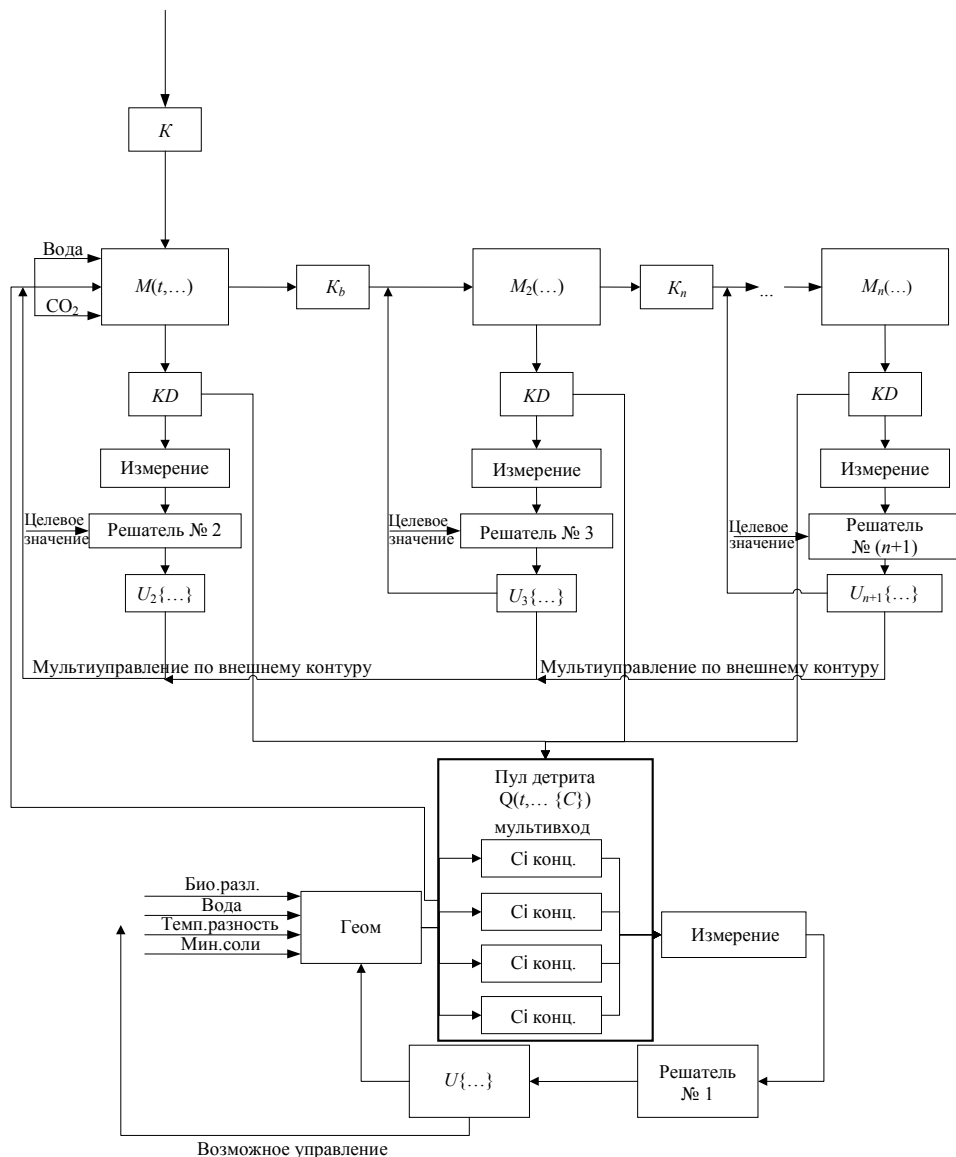


Рис. 2. Принципиальная схема ландшафта как многоконтурной системы управления

Замысел этой части схемы заключается в том, что управление предлагается с обратной связью по состоянию системы, что приведет нас к задаче синтеза управления системой с множеством входов и выходов с полной обратной связью, возможно, что и с наличием элементов запаздывания.

Верхние контуры функционируют как упорядоченный полисистемный набор пищевых трофических контуров, на которые оказывает влияние солнечная радиация, фактор пула детрита и иные факторы, т. е. это есть объект с переменной структурой, обладающий m входами и одним выходом в первом слое, и одним входом и одним выходом в дальнейших слоях. Этот объект также используется для прогнозирования с учетом того, что каждая петля (слой) подчиняется закономерности передачи массы и энергии в цепях ($K_b, \dots, K_n$).

Каждый уровень цепи $M(\dots)$ «отчисляет» в пул детрита определенную долю своей продукции, обозначаемую через KD . Значение этого коэффициента, определяемого опытным путем, и есть индивидуальный параметр для ландшафта.

Управление, которое может рассчитываться и прогнозироваться, может иметь локальный характер и касаться конкретного слоя (петли; обозначено $U_i\{\cdot\}$), либо быть управлением внешнего контура, объединяющим много факторов, т. е. это есть снова задача синтеза многокомпонентного управления с полной обратной связью для объекта с переменной структурой.

На рис. 2 не показаны, но в дальнейшем обязательно должны быть введены в модель внешние возмущения различных видов. В принципе, вопрос формальной записи функции возмущений не представляет существенной трудности.

Предлагаемая модель ландшафта может «работать» в режимах поиска оптимальных управлений по заданным критериям (если на вход каждой петли-слоя задавать целевое значение показателя биомассы M) или как самонастраивающаяся система (если целевое значение задать как сегодняшнее значение, определяющее ненарушенный ландшафт). Также возможно построить *эталонную модель ландшафта*; тогда значения, снимаемые с этой эталонной модели, могут рассматриваться в качестве целевых. То есть мы получим самонастраивающуюся многослойную двухконтурную систему с n входами и m выходами, выступающую как объект управления с переменной структурой, управляемую через несколько источников, каждый из которых имеет свой собственный алгоритм управления.

Не будем забывать и о том, что у нашей системы есть еще и экономическая часть, управляя которой мы можем в реальности выстраивать согласованное развитие системы. При этом в перспективе можно разработать сложные сверточные критерии для постановки единого многокритериального управления эколого-экономической системой в целом. На первом этапе такая система может решаться как система управления с сосредоточенными параметрами и по мере продвижения по циклам и этапам алгоритмов переходить к решению аналогичной задачи в терминах систем управления с распределенными параметрами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда «Волжские земли в истории и культуре России» (проект № 12-12-63005), Программы грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (проект № НШ-

3018.2012.4), Российского фонда фундаментальных исследований РФФИ-Поволжье (проект № 13-04-97004), Программ фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» и ОБН РАН «Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гашев С. Н. Влияние антропогенных факторов на устойчивость сообществ наземных позвоночных животных среднетаяжной зоны Западной Сибири // Проблемы взаимодействия человека и природной среды. Тюмень : Изд-во ИППО СО РАН, 2000. Вып. 1. С. 112 – 116.

Гашев С. Н. Упругая устойчивость экологических систем // Сиб. экол. журн. 2001. № 5. С. 635 – 650.

Исаченко А. Г. Основные принципы физико-географического районирования и вопросы построения таксономической системы единиц // Учён. зап. Ленингр. ун-та. Сер. геогр. 1962. Т. 317, вып. 8. С. 21 – 53.

Исаченко А. Г. Ландшафты СССР. Л. : Изд-во ЛГУ, 1985. 320 с.

Коновалов А. А. Общие черты развития экогеосистем // Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Тюмень : Изд-во ИППО СО РАН, 2000. Вып. 1. С. 61 – 69.

Краснощев Г. П., Розенберг Г. С. Принципы усложнения механизмов устойчивости экологических систем // Проблемы устойчивости биологических систем. М. : Наука, 1992. С. 40 – 51.

Куприянова Т. П. Обзор представлений об устойчивости физико-географических систем // Устойчивость геосистем. М. : Наука, 1983. С. 7 – 13.

Мильков Ф. Н. Физико-географический район и его содержание (на примере Русской равнины). М. : ГеоГИЗ, 1956. 221 с.

Назаров А. В., Лоскутов А. И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизация систем. СПб. : Наука и техника, 2003. 384 с.

Пантелеев А. В., Борताковский А. С. Теория оптимального управления в примерах и задачах. М. : Высш. шк., 2003. 583 с.

Розенберг Г. С. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. Тольятти : Касандра, 2009. 478 с.

Сирота А. А. Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем. М. : Техносфера, 2006. 280 с.

Солнцев Н. А. История физико-географического районирования европейской части СССР // Физико-географическое районирование СССР. М. : Изд-во МГУ, 1960. С. 6 – 54.

Сочава В. Б. Основные положения геоботанического районирования // Бот. журн. 1952. Т. 37, № 3. С. 349 – 361.

Федина А. Е. Физико-географическое районирование / под ред. Н. А. Гвоздецкого. М. : Изд-во МГУ, 1973. 196 с.