

СИСТЕМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДЕЛЬЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

И.И. Тимченко*, Е.М. Игумнова**,
С.М. Солодова**, И.Е. Тимченко**

* Харьковский национальный политехнический университет – ХПИ, г. Харьков

** Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

Рассмотрены составляющие системной методологии управления: принципы, мышление, моделирование и управление, ориентированной на создание информационных технологий поддержки принимаемых решений [1]. Подобное управление названо системным. Показано, что системное управление определяет практические этапы компьютерной поддержки административных решений. Приведен пример управления состоянием упрощенной модели эколого-экономической системы.

Управление экологическим состоянием окружающей среды является чрезвычайно сложной проблемой, требующей системного подхода к ее решению[1-2]. Системная методология управления не является сложившейся и общепринятой дисциплиной. Трудности ее создания объясняются чрезвычайно емкими понятиями «система» и «системное мышление», для которых до сих пор не найдено общепризнанного определения. Предлагаемый нами вариант построения системной методологии управления движением к цели следует рассматривать как один из возможных способов организации управления процессами развития в сложных системах. Ключевыми для этого варианта являются следующие положения [1-2]:

1. Назначение системной методологии состоит в обосновании этапов построения информационных технологий достижения поставленных целей.
2. Системная методология включает в себя теоретические методы (философию) создания информационных технологий, которую мы будем называть системным подходом, и прикладные задачи построения этих технологий, которые мы будем называть системным анализом.

3. Системный подход базируется на четырех основных элементах: принципах, мышлении, моделировании и управлении.

Системный анализ имеет своей целью рационально использовать всю доступную информацию для достижения поставленных целей. Наглядное представление о системе введенных нами понятий дает диаграмма, представленная на рис. 1. Как следует из приведенной диаграммы, системная методология управления развитием начинается с разработки принципов системного подхода [1]. Уместно также дать определения всем четырем составляющим системного подхода, которые мы сформулируем следующим образом.

Системные принципы – аксиоматика построения информационных технологий для постановки и достижения целей, отвечающих рациональному использованию имеющихся ресурсов.

Системное мышление – применение системных принципов для построения концептуальной модели иерархии двух систем: управляемой системы, введенной для постановки и достижения цели, и управляющей системы, представляющей процессы в окружающей среде.

Системное моделирование - использование концепции адаптивного баланса влияний при построении прогностической модели достижения поставленной цели на основе иерархической связки двух систем управляемой системы движения к поставленной цели и управляющей системы окружающей среды.

Системное управление – нахождение и осуществление рациональных сценариев движения к цели путем использования всей доступной информации и непрерывной адаптации целевых установок к имеющимся ресурсам развития.

В ряде наших работ приведено подробное изложение принципов и методов системного моделирования[1-3]. В качестве примера использования системной методологии рассмотрим задачу построения модели процессов развития в эколого-экономической модели природопользования. Определим как цель исследования нахождение баланса между объемами потребления природных ресурсов и объемами природоохранных мероприятий, обеспечивающих нормальное экологическое состоя-

ние природной среды. Рассматривая проблему управления природопользованием в максимально упрощенном виде, мы будем характеризовать экологическое состояние природной среды некоторым индексом состояния, который ниже на рис. 2 обозначен как x_3 .

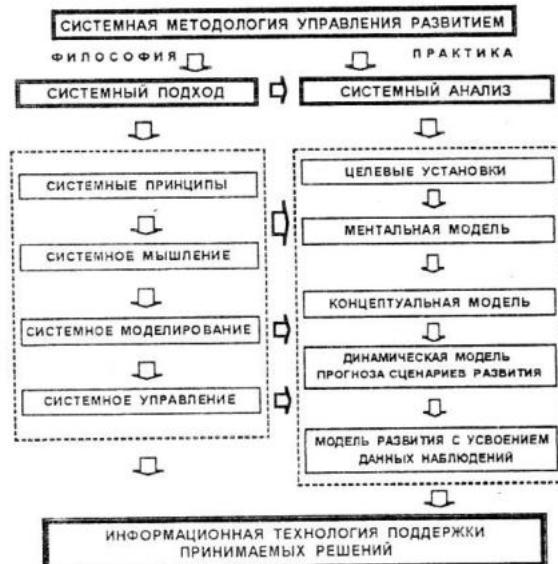


Рисунок 1 – Диаграмма системной методологии управления развитием

Этот процесс находится под воздействием двух противоположно направленных тенденций. С одной стороны, на него оказывает негативное влияние потребление природных ресурсов x_2 в интересах обеспечения экономической системы производства. С другой, положительные изменения в экологическом состоянии происходят, благодаря внедрению новых природоохранных технологий, количество которых обозначено как x_7 . Положительные влияния на рис. 2 показаны сплошными стрелками, отрицательные – пунктиром.

Для обеспечения баланса этих тенденций в эколого-экономической системе необходимо применить одну из концепций системного мышления, которая предлагает искать замкнутые цепочки положительных и отрицательных обратных связей, уравновешивающих друг друга. Цепочка положительной обратной связи будет замкнута, если учесть влияние угрозы дефицита природных ресурсов x_4 на объем их потребления. Чем ниже индекс экологического состояния, тем выше риск дефицита ресурсов. По-

этому влияние x_3 на x_4 будет отрицательным. Что же касается влияния угрозы дефицита на объем потребления, то естественно предположить, что оно будет положительным, но произойдет под контролем некоторого агента управления A_1 , функции которого будут определены ниже. Заметим, что построенная цепочка обратной связи является положительной (хотя в ней существуют отрицательные влияния), так как отрицательных влияний в ней содержится четное количество (два).



Рисунок 2 – Концептуальная модель эколого-экономической системы природопользования

Для построения балансирующей цепочки отрицательной обратной связи свяжем количество ресурсосберегающих технологий x_5 с финансированием их разработки и внедрения x_6 . Примем, что финансирование x_6 составляет некоторую пропорциональную общему объему части финансирования охраны природы x_5 . Включим в цепочку отрицательной обратной связи агента A_2 , контролирующего внедрение новых технологий.

Располагая концептуальной моделью системы развития рис. 2, несложно построить динамические уравнения модели этой системы. Для этого достаточно использовать систему уравнений ABC-метода [1-2] и учесть в ней схему взаимных влияний концептуальной модели. Динамические уравнения принимают следующий вид:

$$\frac{dx_1}{dt} = x_1[1 - 2(x_1 - a_{12}x_2 - F_1)],$$

$$\frac{dx_2}{dt} = x_2[1 - 2(x_2 - a_{21}x_1 - A_1(x_4))],$$

$$\begin{aligned}\frac{dx_3}{dt} &= x_3[1 - 2(x_3 + a_{32}x_2 - a_{37}x_7)], \\ \frac{dx_4}{dt} &= x_4[1 - 2(x_4 + a_{43}x_3)], \\ \frac{dx_5}{dt} &= x_5[1 - 2(x_5 + a_{53}x_3)], \\ \frac{dx_6}{dt} &= x_6[1 - 2(x_6 - A_2(x_5))], \\ \frac{dx_7}{dt} &= x_7[1 - 2(x_7 - a_{76}x_6)].\end{aligned}\quad (1)$$

Рассмотрим отклонения процессов развития x_i' от их стационарных значений. Введем коэффициенты взаимной корреляции $R_{kl} = E\{x_k'x_l'\}$ и $G_{mn} = E\{x_m'f_n'\}$. Используя общие соотношения АВС-метода [1-2], выразим через коэффициенты взаимной корреляции коэффициенты влияния в динамической модели (1):

$$\begin{aligned}a_{12} &= \frac{R_{12} + G_{12}}{R_{22}}; a_{21} = \frac{R_{21}}{R_{11}}; a_{32} = \frac{R_{32}R_{77} - R_{37}R_{72}}{R_{22}R_{77} - R_{27}R_{72}}; \\ a_{37} &= \frac{R_{22}R_{37} - R_{27}R_{32}}{R_{22}R_{77} - R_{27}R_{72}}; a_{43} = -\frac{R_{43}}{R_{33}}; a_{53} = \frac{R_{53}}{R_{33}}; \\ a_{76} &= \frac{R_{76}}{R_{66}}; \quad a_{24} = \frac{R_{24}}{R_{44}}; \quad a_{65} = \frac{R_{65}}{R_{55}}.\end{aligned}\quad (2)$$

Установим предельно допустимую величину риска дефицита природных ресурсов, который может привести к необратимым последствиям в составе ресурсов [3]. Обозначим ее x_4^* . Агент управления A_1 должен следить за тем, чтобы индекс экологического состояния x_3 не повышал уровень риска до предельно допустимого значения x_4^* . Для агента управления A_1 целесообразно выбрать следующее представление:

$$\begin{aligned}A_1(x_4 - x_4^*) &= \\ IF \left[x_4^* - x_4 < 0; -a_{24}x_4; b_{24} \left(1 - e^{-\alpha_4(x_4^* - x_4)} \right) \right].\end{aligned}\quad (3)$$

Дефицит финансирования природоохранной деятельности может достичь критической величины x_5^* , ниже которой меро-

приятия по восстановлению нормального экологического состояния природной среды становятся бесполезными. Агент A_2 должен следить за тем, чтобы величина $x_5 - x_5^*$ оставалась положительной. Поэтому формальное представление агента должно быть следующим:

$$\begin{aligned}A_2(x_5 - x_5^*) &= \\ IF \left[x_5 - x_5^* > 0; -a_{65}x_5; -b_{65} \left(1 - e^{-\alpha_5(x_5 - x_5^*)} \right) \right]\end{aligned}\quad (4)$$

Коэффициенты b_1 , b_2 , α_1 и α_2 позволяют выбрать интенсивности и скорости, с которыми агенты влияют на процессы развития в системе.

В проведенном вычислительном эксперименте была поставлена задача: ограничивать потребление ресурсов, когда индекс экологического состояния опускается до предельно допустимого уровня, а риск дефицита ресурсов достигает величины $x_4 = 3.0$. Имитированный сценарий риска показан на рис. 3а.

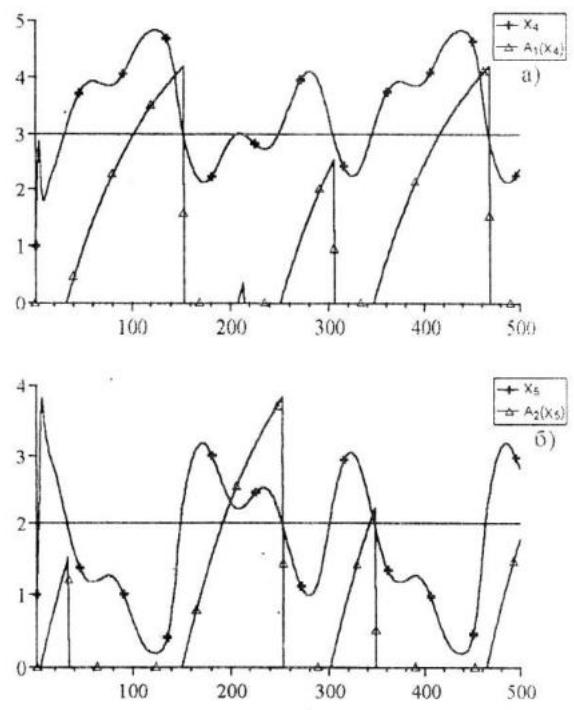


Рисунок 3 – Операции, выполняемые агентами управления в модели развития. а) x_4 - сценарий риска дефицита природных ресурсов, $A_1(x_4)$ - сценарии управления; б), x_5 - сценарий риска дефицита финансирования природоохранных мероприятий, $A_2(x_5)$ - сценарии управления

На этом же рисунке показаны сценарии управления потреблением ресурсов, которые генерировал агент A_1 . Управляющие воздействия включались всякий раз, когда кривая риска пересекала снизу прямую линию $x_4 = 3.0$ и выключались, когда это пересечение происходило сверху.

Аналогичное задание было поставлено агенту A_2 . Он следил за тем, чтобы угроза дефицита финансирования природоохраных мероприятий не превышала величины $x_5 = 2.0$. Сценарий риска дефицита финансирования и управляющие воздействия со стороны агента A_2 показаны на рис. 3б. Результаты управления показали, что модель адекватно реагирует на изменение экологической ситуации.

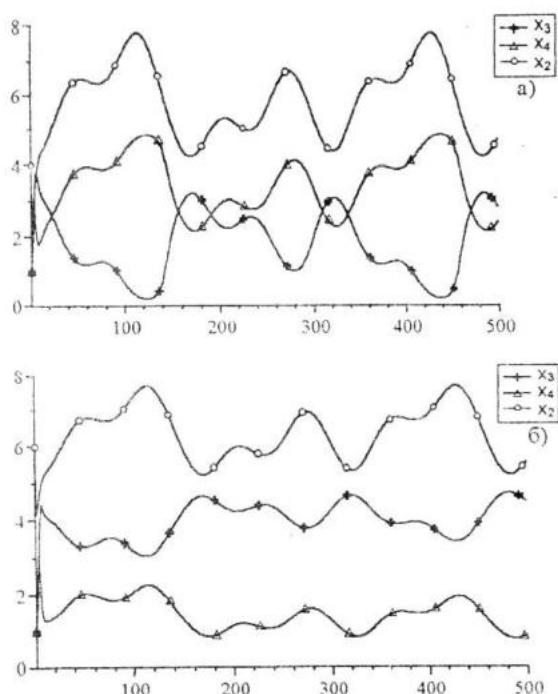


Рисунок 4 – Оценка эффективности управления развитием по критерию дефицита финансирования природоохранных технологий. а) сценарии развития без управления: x_3 - индекс экологического состояния, x_4 - угроза дефицита природных ресурсов, x_2 - объем потребления ресурсов; б) сценарии при наличии управления: x_3 - индекс экологического состояния, x_4 - угроза дефицита природных ресурсов, x_2 - объем потребления ресурсов

Целью следующего имитационного эксперимента стала оценка эффективности управления развитием за счет создания новых экологически чистых технологий производства и потребления ресурсов. Основное управление было возложено на агента A_2 , который должен был существенно увеличивать объемы финансирования новых технологий, когда риск дефицита финансирования превосходил значение $x_5 = 2$. Результаты расчетов представлены на рис. 4а,б. Рис. 4а демонстрирует сценарии развития, которые имеют место, когда управление выключено. Влияние потребления ресурсов на экологическое состояние было выбрано большим. Поэтому индекс состояния принимал низкие значения. Результаты управления финансированием новых технологий показаны на рис. 4б. Сравнивая между собой сценарии развития, помещенные на этих двух рисунках, нетрудно заметить значительное улучшение экологической ситуации при том же объеме потребления природных ресурсов. Индекс x_3 вырос в два раза, примерно так же уменьшился риск дефицита природных ресурсов x_4 .

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Е. Тимченко, Е.М. Игумнова, И.И. Тимченко. Системный менеджмент и АВС – технологии устойчивого развития. Севастополь, “ЭКОСИ – Гидрофизика”. 2000. – 225 с.
2. И.И. Тимченко, Е.М. Игумнова, И.Е. Тимченко. Образование и устойчивое развитие. Системная методология. Севастополь, “ЭКОСИ – Гидрофизика”, 2004. – 527 с.
3. Системное моделирование морских эколого-экономических процессов. Под редакцией В.Н. Еремеева и И.Е. Тимченко – Севастополь, «ЭКОСИ – Гидрофизика». 2007. – 428 с.