

# УПРАВЛЕНИЕ БАНКОМ МОДЕЛЕЙ В ГИБРИДНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ЭКОЛОГО - ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Н. Жуков

Морской гидрофизический институт

АН Украины

99000 Севастополь, Капитанская, 2

E-mail ocean@alpha.mhi.iuf.net

Под понятием эколого-экономических систем чаще всего понимается объединение объектов и связей, характеризующих с одной стороны потребление природных ресурсов и сопутствующее загрязнение окружающей среды, а с другой - естественную динамику природных процессов, определяющую степень восстановления качества природной среды [1]. Для моделирования таких систем с учетом разнородности воспроизводимых процессов и, соответственно, широкого спектра используемых моделей наиболее

целесообразно воспользоваться возможностями гибридных экспертных информационных систем (ГЭИС) [2].

ГЭИС способны выполнять одновременно две функции - и расчетно - моделирующую, и экспертно - справочную, и обладают возможностью объединения знаний, содержащихся как в сильно formalизованных (математических) моделях и методах, так и в слабо formalизованных моделях, представляющих эмпирические знания экспертов (системы продукции, логико - лингвистические модели, визуальные образы и т.п.).

Если под моделью объекта исследований понимать описание этого объекта на каком-либо языке, то информация, содержащаяся в совокупности моделей предметной области, может быть преобразована в структуру и состав банка моделей ГЭИС, состоящую из двух основных подсистем - базы данных и базы процедур (рис. 1).

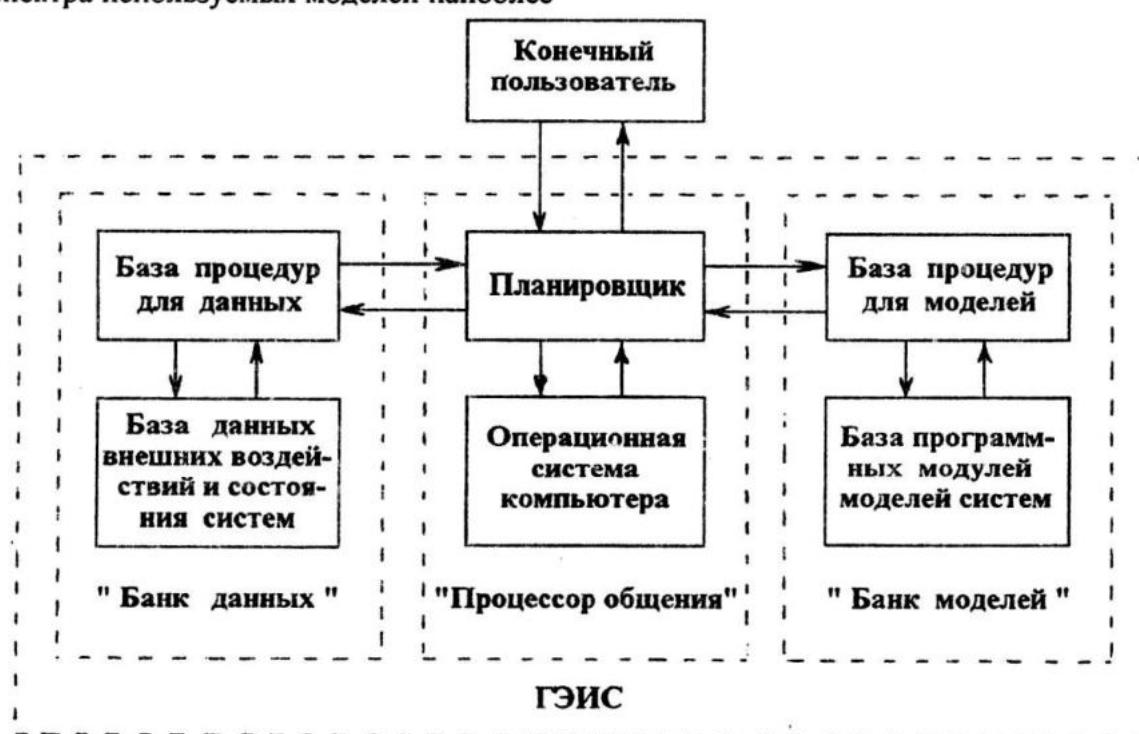


Рис. 1. Функциональная структура ГЭИС.

Элементы базы данных такого банка - это описания и правила поведения объектов исследований (факты, свойства, законы, теоремы, уравнения и т.п.), а

элементы базы процедур - это правила деятельности с элементами базы данных, т.е. соответствующие информационные технологии. Очевидно, что процесс

функционирования банка моделей ГЭИС (т.е. управление им) тождественна реализации множества операций его базы процедур. Последние можно разделить на три очевидные группы, а именно: создания, совершенствования (развития) и использования моделей конечным пользователем.

Если следовать известной в области теории искусственного интеллекта теореме Т. Винограда о том, что решение любой задачи автоматизации интеллектуальной деятельности становится возможным путем последовательных огра-

ничений ее содержания (т.е. путем перехода от систем многозначных понятий к системе однозначных понятий) [2], то для всех трех вышеуказанных групп операций можно предложить один общий алгоритм (рис. 2), который в каждом конкретном случае может использоваться полностью или частично. Поскольку реализация такого алгоритма для группы операций использования моделей была подробно рассмотрена в [3], то в данной работе основное внимание будет уделено другой группе операций - развития моделей.



Рис. 2 Обобщенный алгоритм реализации множества операций базы процедур

Эта группа в свою очередь может быть разделена на две подгруппы - совершенствования моделей (с изменением их структуры с целью повышения степени их адекватности) и коррекции моделей (с изменением параметров моделей для их оптимизации под конкретную задачу). Следует заметить, что по содержанию выполняемых операций подгруппа коррекции моделей является общей для всех трех основных групп, а

подгруппа совершенствования моделей - общей для групп их создания и развития.

Рассмотрим возможность формализации подгруппы операций коррекции, используя для этого в качестве примера описанную в [4] модель морского природно-хозяйственного комплекса (МПХК) "море-суша", включающего в себя часть акватории Азовского моря. Система динамических уравнений модели позволяет прогнозировать восемь

компонент вектора состояния экосистемы Азовского моря, если заданы их начальные значения  $X_{i0}$  и определены входящие в модель функции влияния  $\alpha_j$ . Все уравнения модели записаны таким образом, что могут быть сведены к общему виду:

$$X_i(t + \tau) = X_i(t) [1 + \tau(U_{\text{вх.}} - U_{\text{вых.}})] \quad (1)$$

или

$$\begin{aligned} X_i(t+\tau) = X_i(t) \{ 1 + \tau [ & (A_1 \alpha_1(X_j) A_2 \alpha_2(X_k) \dots \\ & \dots A_n \alpha_n(X_l)) - \\ & - (B_1 \alpha_1(X_j) B_2 \alpha_2(X_k) \dots B_n \alpha_n(X_l))] \}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $X_i$  -  $i$ -я компонента вектора состояния системы,  $i = 1, \dots, 8$  (например,  $X_1$  - объем биоресурса,  $X_2$  - качество среды и т.д.);  $t$  - время и  $\tau$  - интервал времени между последовательными состояниями системы;  $U_{\text{вх.}}$  и  $U_{\text{вых.}}$  - скорости изменения соответственно входных и выходных воздействий на  $X_i$ , состоящие из произведений  $\alpha_m(X_j)$  - функций влияния  $X_j$  (или  $X_k$ , или  $X_l$ ) на  $X_i$ ,  $j, k, l = 1, \dots, 8$ ,  $m = 1, \dots, n$ ;  $A_m$ ,  $B_m$  - весовые коэффициенты функций влияния;  $n$  - число функций влияния.

Система уравнений модели в виде (2) представляет собой формализованную часть знаний об объекте исследований, представленную в банке моделей. В свою очередь функции влияния  $\alpha_m(X_j)$ , используемые в модели в виде эмпирических кривых (заданных таблицами чисел или таблицами коэффициентов интерполирующих функций), представляют экспертную часть знаний.

При использовании вышеописанной модели процедура ее коррекции сводится к многократному повторению последовательности операций (рис. 3), связанных как с подстройкой весовых коэффициентов  $A_m$  и  $B_m$  (параметризация), так и с изменением вида функций  $\alpha_m(X_j)$  по критерию достижения определенного значения или области значений для одного или нескольких параметров вектора состояния эколого-экономической системы (многокритериальная оптимизация). Например, можно добиваться обеспечения стабильности себестоимо-

сти продукции, выпускаемой предприятиями, входящими в состав МПХК, при минимальном загрязнении окружающей среды в условиях сезонных изменений биопродуктивности.

Практически для коррекции данной модели можно воспользоваться представлением совокупности начальных значений  $\alpha_m(X_j)$ ,  $A_m$  и  $B_m$ , а также их номеров (т.е. значений  $m, j, k, l$  в каждом из восьми уравнений) в виде таблиц (массивов). Это позволяет не только изменять значения вышеуказанных параметров, но и в некоторых пределах менять состав уравнений модели (т.е. модифицировать ее структуру), добавляя или убирая из возможного числа  $n$  сомножителей в составе  $U_{\text{вх.}}$  и  $U_{\text{вых.}}$  те или иные функции влияния.

Процесс коррекции может идти в полуавтоматическом или в автоматическом режиме. В первом случае оценку полученных результатов и принятие решения о том, что и как корректировать, в режиме диалога осуществляет конечный пользователь. При этом вывод на экран дисплея текущих значений параметров модели и ввод произведенных изменений в ее программный модуль производится двумя подпрограммами, реализующими эти стандартные операции.

Во втором случае используется другая подпрограмма, имитирующая принятие решений о коррекции по той части совокупности критериев, которая допускает формализацию, и исполняющая эти решения. Все эти операции относятся к процедуральному типу знаний и поэтому могут быть реализованы на любом проблемно-ориентированном языке программирования высокого уровня, например, на Turbo Pascal 7.0.

Представленная на рис. 3 процедура коррекции может быть обобщена как для достаточно широкого класса эколого-экономических моделей, однотипных с вышеописанной, так и для группы операций развития моделей в целом. При этом для операций совершенствования моделей к содержанию рис. 3 добавляется еще одна "ветвь", реализую-

щая замену структур уравнений модели, а в остальном алгоритм остается без из-

менений.



Рис. 3. Алгоритм реализации операций коррекции модели МПХК "море-суша".

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горстко А.Б., Угольницкий Г.А. Введение в моделирование эколого - экономических систем. - Ростов : изд - во РГУ, 1990. - 110 с.
2. Искусственный интеллект. Справочник / Под ред. Э.В. Попова. - М. : Радио и связь, 1990. - 464 с.
3. Жуков А.Н. Проблемы синтеза информационных технологий в гидрофизике на примере задачи выбора группы моделей для прогнозирования тон-

ких структур. - МГИ АН Украины, Севастополь, 1992. - 32 с. ( Рук. деп. в ВИНИТИ, № 3397 - В92. Деп. От 30.11.92 )

4. Игумнова Е.М., Солодова С.М., Тимченко И.Е., Жуков А.Н. Управление пространственно - распределенными биоресурсами. - В кн. : Системы контроля окружающей среды. Сб. научн. тр. / МГИ НАН Украины, Севастополь, 1999, с. 205 - 211.