

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Н.К.В. Санникова, И.Е. Тимченко

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

Развита модель социальной эколого-экономической системы включением интеллектуальных агентов управления. Получены прогнозируемые модельные сценарии развития глобальных процессов с учетом адаптивного баланса возможных причин и следствий.

Введение. Развитие теории сложных систем и, в частности, теории искусственного интеллекта, представляет собой одну из приоритетных задач современного естествознания. Эколого-экономические системы (ЭЭС) относятся к категории подобных систем в виду большого количества взаимодействующих факторов, которые определяют динамику происходящих в системах процессов [1]. Поэтому некоторые результаты теории искусственного интеллекта могут быть успешно использованы при построении динамических моделей глобальных систем и при создании информационных технологий управления процессами в ЭЭС.

Одним из таких примеров может служить применение логических операций управления в алгоритмах решения уравнений эколого-экономических моделей. В виду большого разнообразия внешних воздействий на социальные ЭЭС и различной реакции на них самих ЭЭС весьма часто возникает необходимость переключения параметров моделей с одних значений на другие. По этой причине модели ЭЭС должны включать, наряду с традиционными системами динамических уравнений, так называемые, интеллектуальные агенты управления (ИАУ). Агенты следят за изменениями значений некоторых из происходящих в сложной системе процессов и выполняют предписанные им функции управления параметрами модели.

В ходе работы была построена интегрированная модель глобальных эколого-экономических процессов [3]. Модель была формализована применением метода адаптивного баланса влияний (метод ABC) [2]. Совместно с системой динамических уравнений, в состав модели включены ИАУ.

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что применение ИАУ в уравнениях эколого-экономической модели позволяет моделировать сложные сценарии развития природных и социально-экономических процессов.

Динамическая модель глобальной социальной эколого-экономической системы. Широко известная GAIA-теория выдвигает гипотезу о способности адаптации глобальной природной системы к изменениям внешних условий путем саморегуляции, обеспечиваемой живыми организмами. В настоящей работе был расширен круг таких явлений, включением в их число и природных, и социально-экономических процессов. Глобальная социальная ЭЭС и ее природная окружающая среда находится в состоянии адаптивного баланса, обеспечивающем устойчивое развитие. Основываясь на этой гипотезе, была построена модель глобальных природных и общественно-экономических процессов с использованием метода моделирования ABC.

В соответствии с системными принципами построения ABC – моделей были определены наиболее важные процессы мирового развития. Основными целевыми установками устойчивого развития являются материальный уровень жизни населения и обеспечение безопасности людей. Материальный уровень жизни населения, в первую очередь, зависит от развития производства, от количества населения и его занятости. Развитие производства определяется образованием, наукой, технологиями производства и использованием ресурсного потенциала Земли. Рост производства уменьшает безработицу, но одновременно ухудшает качество окружающей среды, за счет загрязнения отходами промышленности, энергетики, транспорта. Содержание парниковых газов в атмосфере повышает среднюю температуру поверхности, однако, вступают в силу механизмы саморегуляции, компенсирующие это повышение. Важным побочным эффектом саморегулирования температуры являются резкие колебания погоды, проявляющиеся в возникновении ураганов и наводнений. Предполагается, что человечеству угрожают два интегрированных процесса: «экологическая опасность» и «социальная опасность». Включением в модель процесса «самоорганизация общества», обеспечивается противодействие растущим экологической и социальной опасностям за счет компенсирующего влияния на них со стороны достигнутой образования, науки и системного мышления. Построенная модель приведена на рисунке 1.

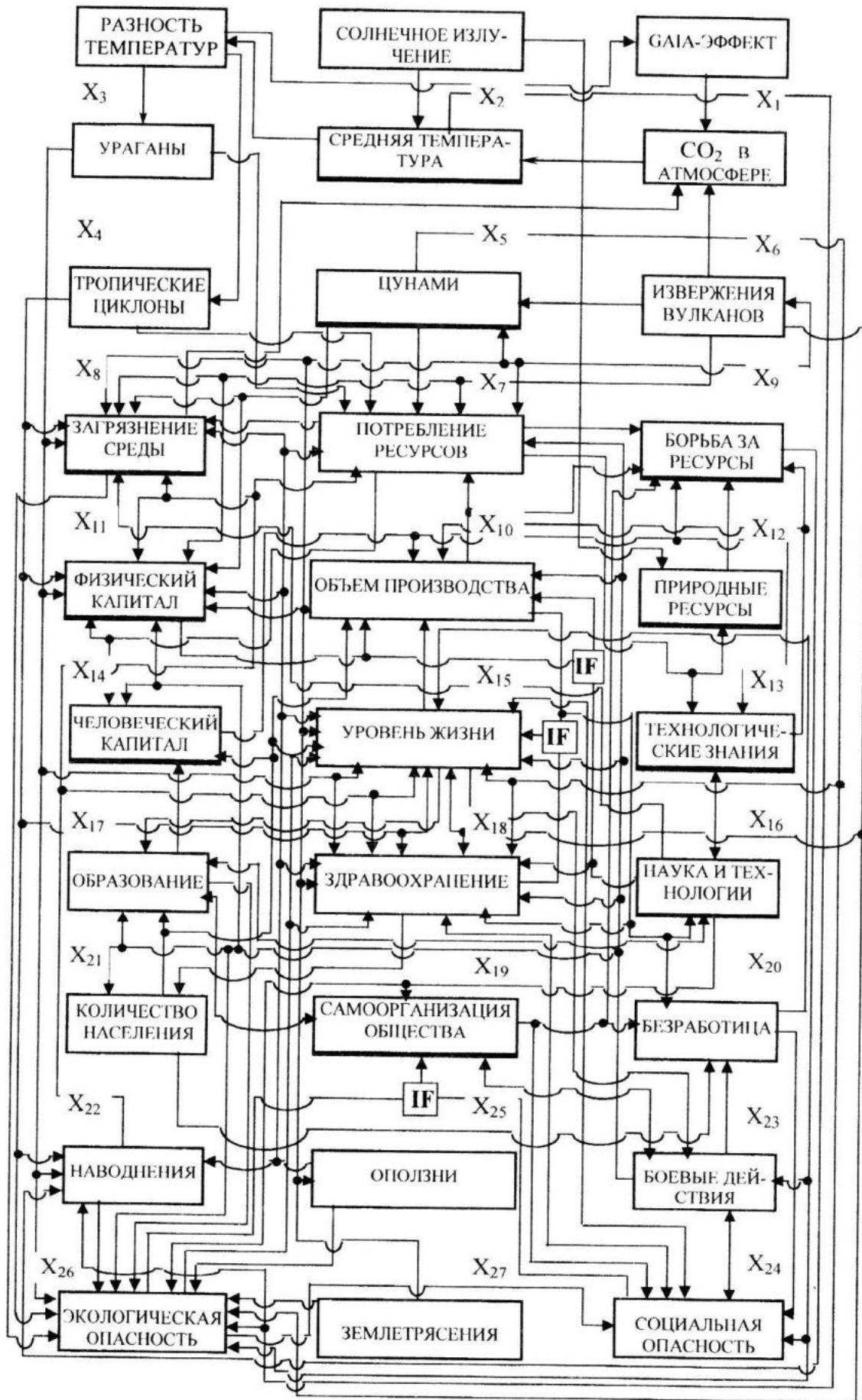


Рисунок 1 – Интегрированная модель глобальных природных и социально-экономических процессов

Для формализации модели использовался подход, основанный на методе ABC. Основное уравнение метода ABC выражает собой баланс тенденций в изменении значений процесса, обусловленных влияниями на него со стороны других процессов. Оно имеет следующий вид

$$dx_i/dt = x_i - 2(a_{i1}x_1x_i + a_{i2}x_2x_i + \dots + a_{in}x_nx_i + x_i^2),$$

где переменные x_1, x_2, \dots, x_n характеризуют сценарии интересующих нас процессов в окружающей среде; $a_{ij}x_j$ – влияние, оказываемое процессом x_j на процесс x_i ($i, j = 1, 2, \dots, 26$).

Применение ИАУ для имитации эколого-экономических процессов развития. В правых частях полученных уравнений присутствуют слагаемые вида AD, представляющие собой первую группу ИАУ. Они контролируют поведение системы в границах допустимых значений параметров состояния процессов

$$AD(x_i) = IF \{x_i(t) < x_0; -a_{ji}; -\beta_{ji}[1 - \exp(-\alpha_{ji}t)]\}.$$

Вторая группа ИАУ, имеющая в модели обозначения: $\min\{a_{ji}x_i; a_{jk}x_k\}$, отображена на концептуальной модели ограничительными блоками “IF”. С их помощью учитываются дополнительные факторы ограничений в ситуациях, когда функционирование какого-либо элемента модели осуществляется при одновременном действии нескольких влияющих на него элементов. В таком случае, в качестве основного влияния на данный процесс, используется лишь определяющая из характеристик, входящих в класс “одно- временно необходимых”.

Слагаемые вида AT представляют собой третью группу ИАУ. Они не только отслеживают границы допустимых значений параметров состояния системы, но также учитывают запаздывания процессов роста по отношению к вызвавшим их причинам

$$AT(x_i) = IF \{x_j(t - \tau_1) < x_0; 0; -\beta''_{ki}[1 - \exp(-\alpha''_{ki}t)]\},$$

где τ_1 – задержка по времени.

Четвертая группа ИАУ АК изменяет величины коэффициентов влияния одних процессов на другие, в зависимости от принимаемых ими значений

$$AK(x_i) = IF \{x_j(t)/x_i(t) > x_0; -a_{ki}; a_{ki}\}.$$

Последняя, пятая группа ИАУ имеет в модели обозначения AE и представлена следующим выражением

$$AE(x_i) = IF \{x_i(t) > x_0; 0; -\beta_{ki} \exp[-(t^* - t)^2]\}.$$

Демонстрация действия ИАУ. Далее проводились вычислительные эксперименты с моделью, демонстрирующие возможные сценарии глобального развития с учетом процессов самоорганизации общества. Использовались безразмерные процессы $x_1 - x_{28}$, приведенные к общей шкале изменчивости (0,25). Выбор коэффициентов влияний a_{ij} в уравнениях обеспечил взаимное приспособление всех процессов и привел систему в стационарное состояние баланса влияний. Расчеты по этой модели выполнялись на 500 шагов безразмерного времени.

Представляло интерес провести эксперимент, в котором природные механизмы GAIA – регуляции оказываются неспособными полностью исключить рост средней температуры поверхности Земли. Могут ли в этих условиях эффекты самоорганизации общества ослабить экологическую и социальную опасность и поднять материальный уровень населения Земли?

В проведенном эксперименте были имитированы случайные колебания концентрации парниковых газов в атмосфере, вызываемые мощными выбросами CO_2 . Сначала был имитирован рост конкурентной борьбы за ресурсы, а после 200 шага вычислений, – ее прекращение. Соответствующие сценарии развития показаны на рисунке 2. На первых 100 шагах вычислений в условиях отсутствия GAIA – регуляции средней температуры возросли уровни экологической и социальной опасности, наблюдалось резкое падение уровня жизни и здравоохранения. После включения эффекта регуляции средней температуры появилась тенденция к ее уменьшению, однако высокий уровень загрязнения окружающей среды сохранился. Продолжалось, хотя и замедленное, падение уровня жизни, производства, здравоохранения. Экологическая и социальная опасность оставались высокими.

Агент $AT(x_{19})$ (отображающий инертный процесс роста возобновляемых природных ресурсов (леса), поглощающих углекислый газ, как реакцию на превышение им в атмосфере (x_1) установленного допустимого значения) срабатывает на 80-м шаге.

