

УДК 303.732.4

© 2011 г. **И.А. Шпехт**, канд. техн. наук,

В.С. Симанков, д-р техн. наук,

Р.Р. Саакян, д-р техн. наук

(Кубанский государственный технологический университет, Краснодар)

ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСПЕРТНО-КЛАССИФИКАЦИОННОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ОПОРОЙ НА ПРОЦЕДУРЫ МЕТОДОЛОГИИ ASSA

Рассматривается технология автоматизации этапа системного анализа «Определение целей» как одна из технологий, входящая в общую методологию автоматизации процесса системного анализа – методологию ASSA, формализующую процесс исследования сложных систем.

Ключевые слова: системный анализ, этапы системного анализа, автоматизация, сложная система, формализованные и неформализованные процедуры.

Введение

В настоящее время для исследования сложных систем (СС) широко используется системный анализ как один из эффективных инструментов системного подхода при исследовании трудноформализуемых задач. При этом процесс использования системного анализа полностью не формализован, и более того, не имеет унифицированного характера. Каждый исследователь решает свои конкретные задачи исходя из собственного опыта и знаний, используя предпочтительные со своей точки зрения подходы, методы и инструментарий системного анализа, иногда игнорируя некоторые этапы и подэтапы системного анализа. Поэтому с целью повышения качества и сокращения времени исследования разработана методология автоматизации этапов системного анализа («Automation of Stages of the System Analysis») – методология ASSA, содержащая технологии и поддерживающий их комплекс согласованных инструментальных средств (CASE-средств), обеспечивающих автоматизацию процессов, выполняемых на этапах системного анализа.

Методология ASSA реализована посредством конкретных технологий анализа и моделирования (технологий АМ) каждого этапа системного анализа и поддерживающих их правил и процедур, с помощью методов, алгоритмов и инструментальных средств, которые и обеспечивают автоматизацию выполнения этапов системного анализа.

В работе предложена одна из технологий методологии ASSA – технология автоматизации этапа системного анализа «Определение целей» [1].

Постановка задачи

Как известно, цель является одним из важнейших системообразующих факторов, которая обуславливает структуру и поведение системы. Этап «Определение целей» системы как составной части системного анализа в работе представлен в трактовке, предложенной в виде IDEF0-диаграммы [1], и содержит два подэтапа (рис. 1):

- выявление целей системы (подэтап 1);
- определение критериев системы (подэтап 2).

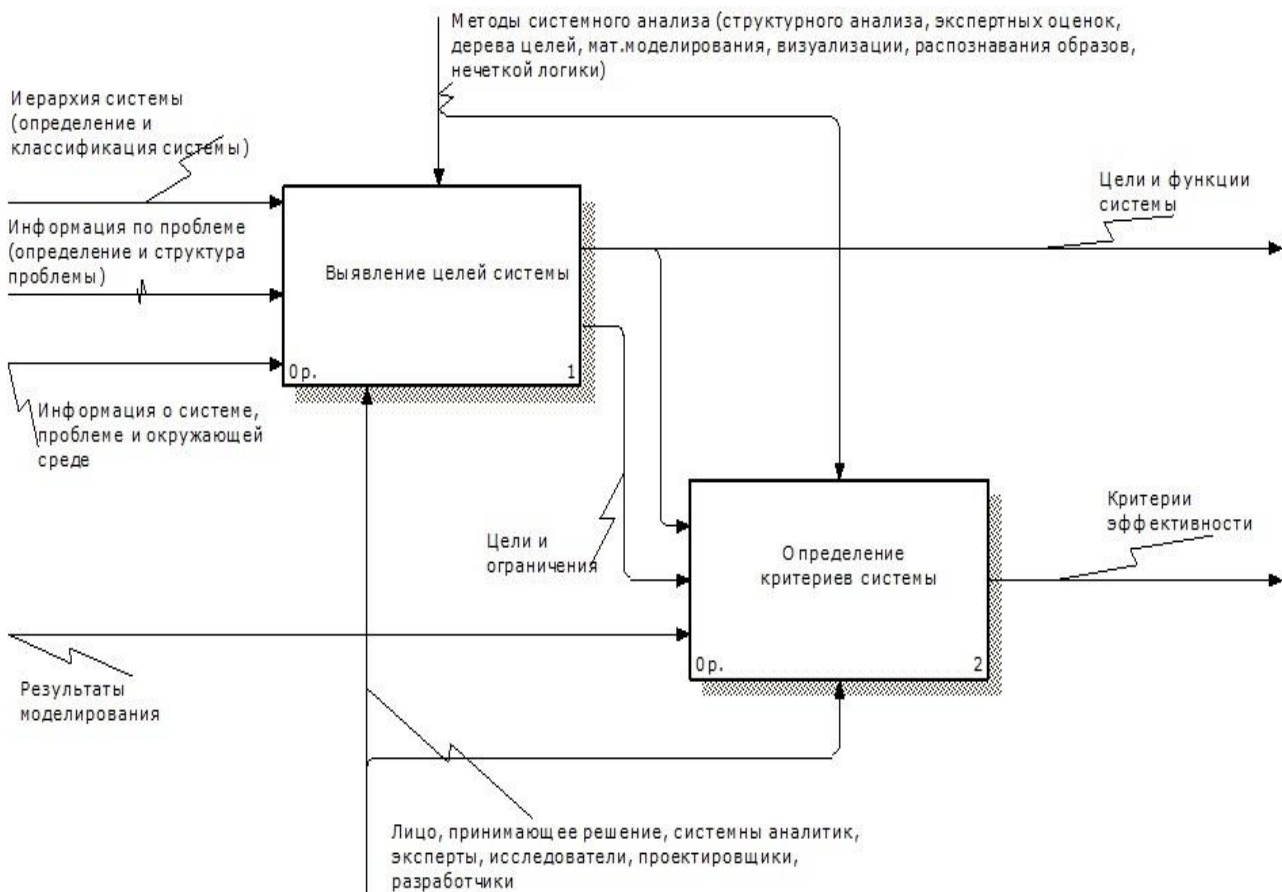


Рис. 1. Этап «Определение целей системы».

Правильно организованный процесс выработки целей (подэтап 1 – «Выявление целей системы») предполагает выполнение следующих шагов (рис. 2):

- определение целей надсистемы (шаг 1);
- определение целей и ограничений среды (шаг 2);
- определение глобальной цели системы (шаг 3);
- декомпозиция целей и функций системы (шаг 4).

Точная формулировка целей надсистемы (шаг 1) силами системных аналитиков и экспертов делает значительно эффективнее дальнейшие системные исследования. Выявление и анализ тенденций, которые наблюдаются в окружающей среде (шаг 2), помогают выявить параметры и ограничения, накладываемые на исследуемую систему.

Далее следует установить глобальную цель системы в целом (шаг 3). На оп-

ределенном временном этапе у системы не может быть несколько глобальных целей. В зависимости от грамотной декомпозиции целей и функций системы (шаг 4) определяются конечный результат деятельности и эффективность достигнутого результата.

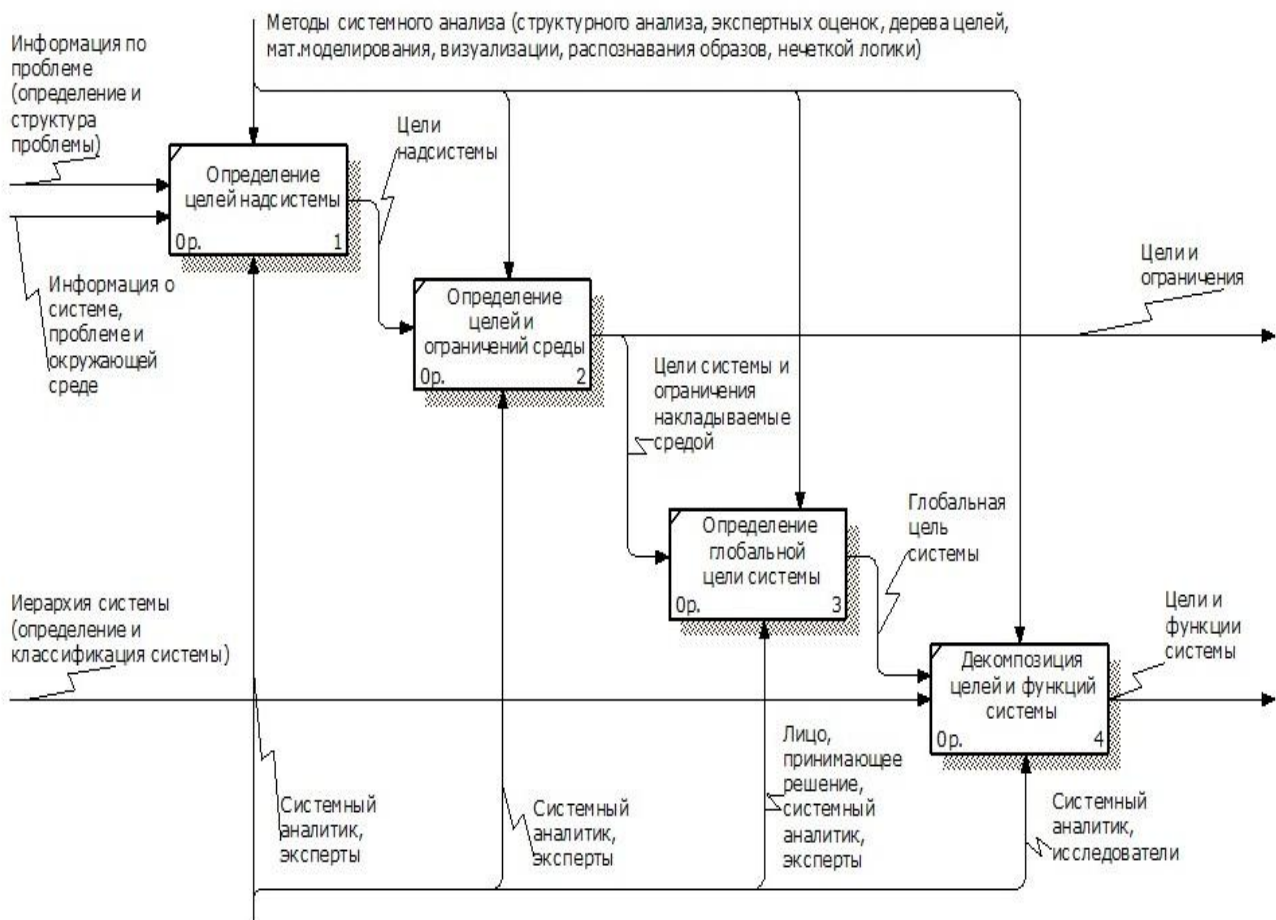


Рис. 2. Подэтап 1 – «Выявление целей системы».

Для реализации рассмотренного подэтапа («Выявление целей системы») требуется установление глобальной цели функционирования системы, что обычно приводит к требованию выполнения множества локальных целей различного уровня иерархии и организации связей. После установления глобальной цели производят декомпозицию целей: формирование последующих уровней по подсистемам. Любой следующий уровень целей формируется таким образом, чтобы обеспечить достижение целей более высокого уровня. Каждая "ветвь" описывает не способ достижения цели, а конкретный конечный результат, выраженный каким-либо показателем. Представленная модель упорядочения целей разного уровня управления в единую комплексную систему получила название "дерево целей". Чем сложнее организационная структура системы, тем больше уровней декомпозиции и сложнее дерево целей (рис. 3).

Построенное на первом подэтапе «Выявление целей системы» дерево целей и установленные ограничения, накладываемые на исследуемую систему, являются платформой для подэтапа «Определение критериев системы» (подэтап 2). Шаги, предпринимаемые для определения критериев системы, можно представить следующим образом (рис. 4): определение системы критериев достижения цели

(шаг 1); декомпозиция критериев по подцелям (шаг 2); определение методов оценки критериев (шаг 3); разработка методики определения критериев системы (шаг 4).

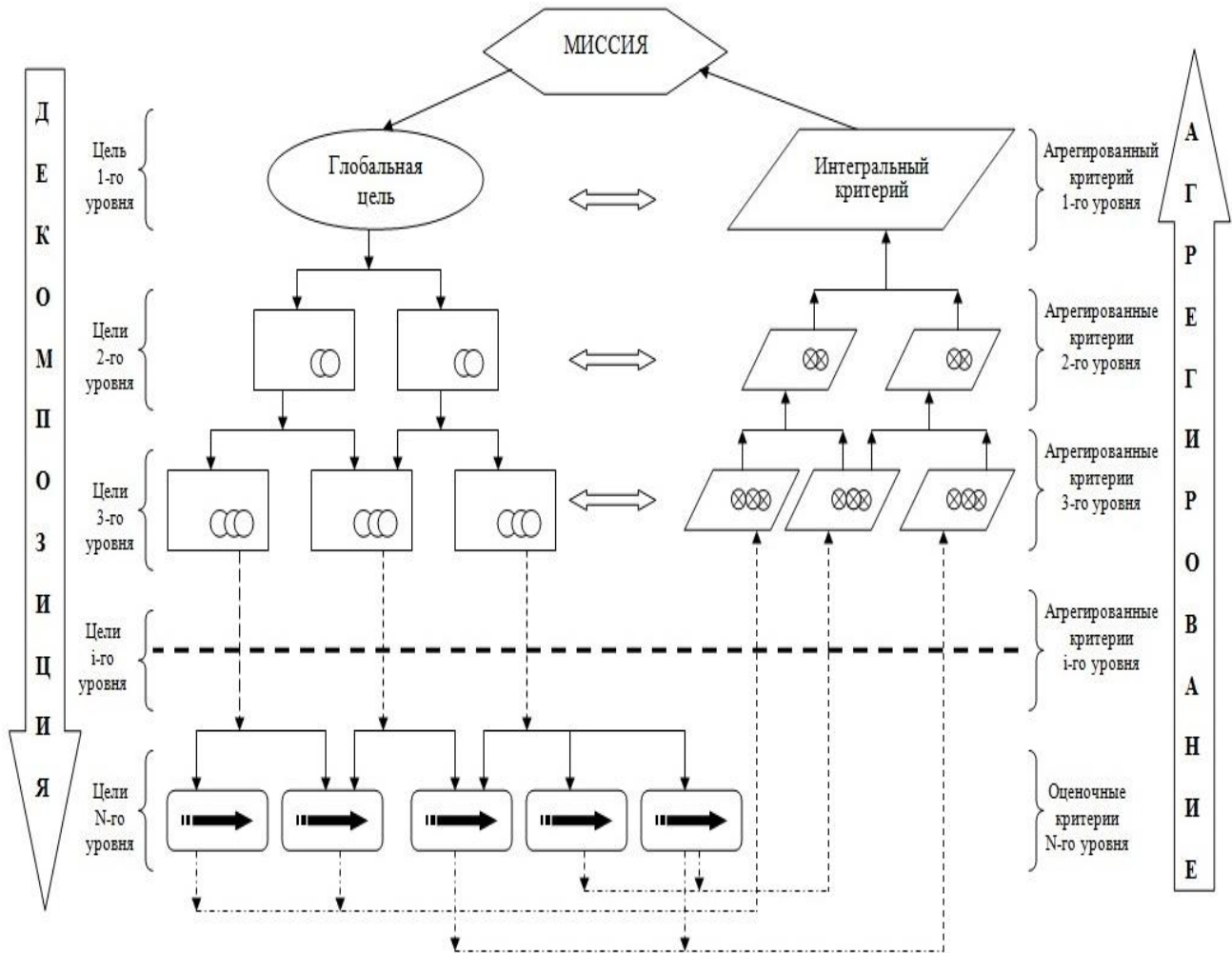


Рис. 3. Структурная схема отображения дерева целей на дерево критериев эффективности.

Оценка эффективности является важным этапом системного анализа, которая позволяет определить уровень достижения целей системы. Эффективность построения и функционирования системы не может быть оценена каким-либо одним показателем, – как правило, это комплексный набор критериев эффективности системы, определяемых лицами, принимающими решение, системными аналитиками, экспертами (шаг 1).

Конечным критерием эффективности является наиболее полное и устойчивое достижение глобальной цели, поставленной перед исследуемой системой. Необходимо довести этот критерий до практически применимых простых показателей, осуществить декомпозицию главного критерия эффективности по подцелям отдельных подсистем, разработать набор нормативных характеристик, позволяющих получить агрегированный конечный критерий эффективности (шаг 2).

Результатом декомпозиции критериев по подцелям является дерево критериев, которое представляет собой обратное отображение дерева целей. Здесь критерии любого уровня являются результатом агрегирования критериев более низкого уровня (рис. 4).

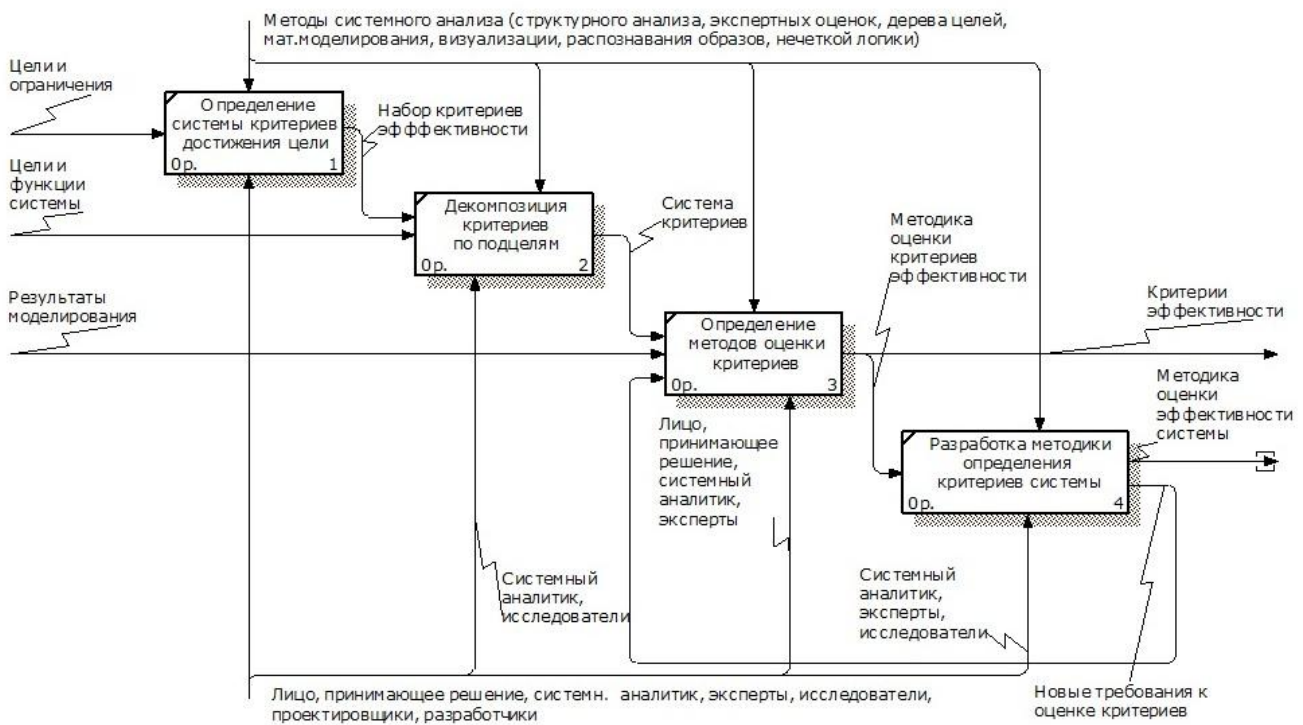


Рис. 4. Подэтап 2 «Определение критериев системы».

Процесс оценки критериев носит неформализованный характер, зависит от компетентности лиц, принимающих решения, системных аналитиков и экспертов. К методам, применяемым для оценки критериев эффективности, можно отнести методы аналогий, дерева целей, теории распознавания образов, нечеткой логики, мозгового штурма, экономического анализа и др. (шаг 3).

Выработка критериев оценки эффективности системы зависит от класса и типа исследуемой системы, в каждой предметной области эти критерии могут отличаться. Однако методики определения критериев эффективности систем способны повторяться (шаг 4).

В работе формализацию вышеперечисленных шагов этапа системного анализа «Определение целей системы» предлагается реализовать на основе разработанной технологии экспертно-классификационного анализа и моделирования (технология ЭКАМ) дерева целей и критериев эффективности, входящей в методологию ASSA.

Технология экспертно-классификационного анализа и моделирования (технология ЭКАМ)

Технология ЭКАМ представляется в виде следующих модулей:

- модуль формирования целей и ограничений;
- модуль выбора информативных признаков;
- модуль построения и анализа дерева целей;
- модуль анализа и моделирования дерева критериев.

Приведем описание работы модулей технологии ЭКАМ с привязкой к приведенным подэтапам системного анализа (рис. 2, 4).

Модуль формирования целей и ограничений. Шаги 1,2 подэтапа 1 «Выявление»

ние целей системы» (рис. 2) представляются процессами, трудно поддающимися формализации, они формулируются силами экспертов-аналитиков и исследователей системы. Так, технические и информационные системы в различных предметных областях реализуют глобальную цель, сформированную надсистемой, а именно лицами, принимающими решения, обладающими мышлением, опытом, интуицией, умеющими выделять проблему и находить пути ее решения. Данный процесс в настоящее время носит неформализованный характер и может быть реализован с привлечением экспертов (модуль 1, рис. 5).

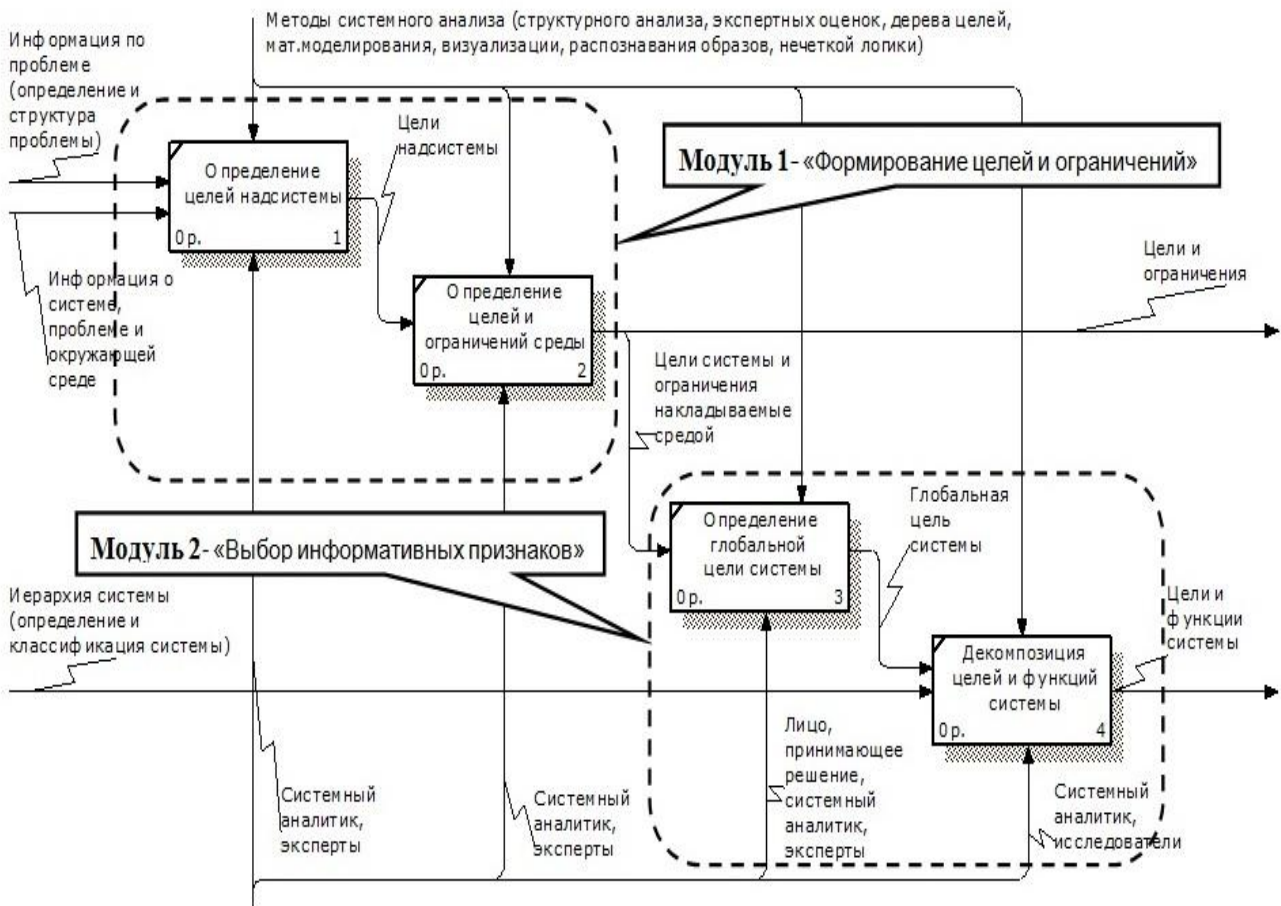


Рис. 5. Технология ЭКАМ – модули 1,2.

Модуль выбора информативных признаков. Глобальные цели сложных систем, как правило, закреплены в законодательных актах, документах и декларациях международного, государственного и местного уровней для социально-экономических систем или отражены в нормативных документах для информационных, технических и технологических систем.

Здесь же обычно приводятся характеристики и критерии, которые оценивают достижение глобальной цели. Такие характеристики и критерии определяются экспертами в данной предметной области, носят количественный характер и представляются как результат интуитивной декомпозиции целей и функций системы с учетом глобальной цели. Одновременно эти критерии представляют собой локальные цели низшего уровня (рис. 3).

Число показателей (характеристик), описывающих систему, как правило, велико, что означает наличие избытка информации, так как некоторые показатели

частично или полностью дублируют или коррелируют друг с другом, а другие не оказывают существенного влияния на моделируемую или прогнозируемую цель, третьи же являются ошибочными, неточно измеренными или фальсифицированными.

Задача модуля выбора информативных признаков (модуль 2, рис. 5) технологии ЭКАМ состоит в формализации шагов 3, 4 подэтапа 1 посредством отбора заданного или произвольного числа наиболее информативных показателей (признаков, индикаторов), которые в максимальной степени привязаны к моделируемой системе и наиболее полно характеризуют глобальную цель.

Выбор подсистемы информативных признаков производится каждый раз с учетом глобальной цели моделирования. Например, выбор информативных признаков из одного и того же набора показателей, индикаторов для анализа и прогнозирования качества жизни региона будут существенно отличаться от информативных признаков для прогнозирования развития промышленности или сельского хозяйства того же региона.

Прогноз глобальной цели системы на ближайший календарный год требует определенной подсистемы признаков, которая будет отличаться от подсистемы при прогнозировании, например, на 5 лет вперед.

Правильно выбранные информативные признаки повышают обоснованность выводов, так как устраняется влияние малозначащих факторов, которые создают "информационный шум".

Известно много подходов и алгоритмов к решению задачи определения группы информативных признаков, однако существующие алгоритмы ориентированы в основном на нахождение информативных признаков с предположением о явной связи между параметрами и их близость в явно выраженных и линейно разделенных группах.

В разработанной технологии ЭКАМ выбор информативных признаков осуществляется на основе алгоритма классификации многомерных линейно неслепых данных (алгоритм «ЛОТОС») [4].

Алгоритм «ЛОТОС» предназначен для решения задач естественной таксономии многомерных данных в трудноформализуемых системах с выделением произвольного количества классов. Источником данных для алгоритма является транспонированная таблица «объект-признак» с нормированными значениями непрерывнозначных признаков представления объектов классификации. Представленный алгоритм реализован в виде программного комплекса, который позволяет с помощью алгоритма неравномерного включения соседних объектов в общий класс производить укрупнение множества данных в виде классов до тех пор, пока каждый объект не войдет в один из классов. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: ввод исходных данных, выявление как выпуклых, так и невыпуклых классов с наименьшим включением в их орбиту неопределенных областей, а также при необходимости исключение из рассмотрения фоновых объектов (данных).

Для определения оптимального количества информативных признаков в технологии ЭКАМ реализован алгоритм динамической визуализации многомер-

ных данных «ДИВИЗ» [5]. Данный программный комплекс предназначен для выявления кластерной структуры в больших объемах многомерных данных. Форматом входных данных для программы являются электронные таблицы с нормированными значениями непрерывнозначных признаков объектов представления. Программный комплекс упрощает проблему разведочного анализа многомерных данных и первичную классификацию объектов в условиях априорной неопределенности в отношении как самих объектов, так и условий их наблюдения. В программе для восприятия на мониторе исходной информации многомерное пространство разбивается на определенное количество трехмерных пространств с последующим проецированием трехмерных точек на плоскость монитора с помощью алгоритма параллельной проекции.

В результате применения алгоритма «ЛОТОС» модуль выбора информативных признаков определяет оптимальный набор показателей, эффективно описывающих цели и функции системы для моделирования дерева целей с учетом логических связей локальных целей как внутри одного уровня, так и между смежными уровнями. Указанный набор информативных признаков в виде подцелей и функций системы нижнего уровня (рис.3) передается для дальнейшего использования в модуль построения и анализа дерева целей (модуль 3, рис. 6) и служит для него входящей информацией.

Модуль построения и анализа дерева целей. Для эффективного управления и обеспечения оптимального функционирования сложных систем важным этапом после определения целей и функций системы является их формализация (анализ и моделирование). Здесь нужно иметь в виду, что в большинстве случаев для сложных систем формализация целей проводится в условиях неполной информации и ограниченных ресурсов.

В модуле построения и анализа дерева целей (модуль 3, рис. 6) для формализации шага 1 «Определение системы критериев достижения целей» с опорой на декомпозицию критериев подцелей (шаг 2) проводится построение дерева целей с использованием экспертных процедур.

Ряд экспертных оценок и предположений математически моделируется на основе формализованных методов анализа. Здесь оценка важности целей выражается в их ранжировании.

Формализация и ранжирование целей в модуле построения и анализа целей осуществляются на основе экспертных оценок с использованием метода распознавания образов, теории нечетких множеств и искусственных нейронных сетей. При этом работа экспертов заключается не только в определении составляющих (целей нижележащего уровня) сложных объектов (целей вышележащего уровня), но и в характеристике связей целей одного уровня, а также целей рядом лежащих уровней как в количественной, так и в качественной оценке (например, связь «менее тесная», «более тесная», «обратная»).

Таким образом, результатом формализации является аналитическое описание глобальной цели, выраженное через взаимосвязь локальных целей (рис. 3).

Другим способом представления глобальной цели через критерии эффективности является построение дерева целей, опирающегося на логические пра-

вила «если – то», которые образуют базу знаний, учитывающую возможные варианты развития сценариев поведения системы.

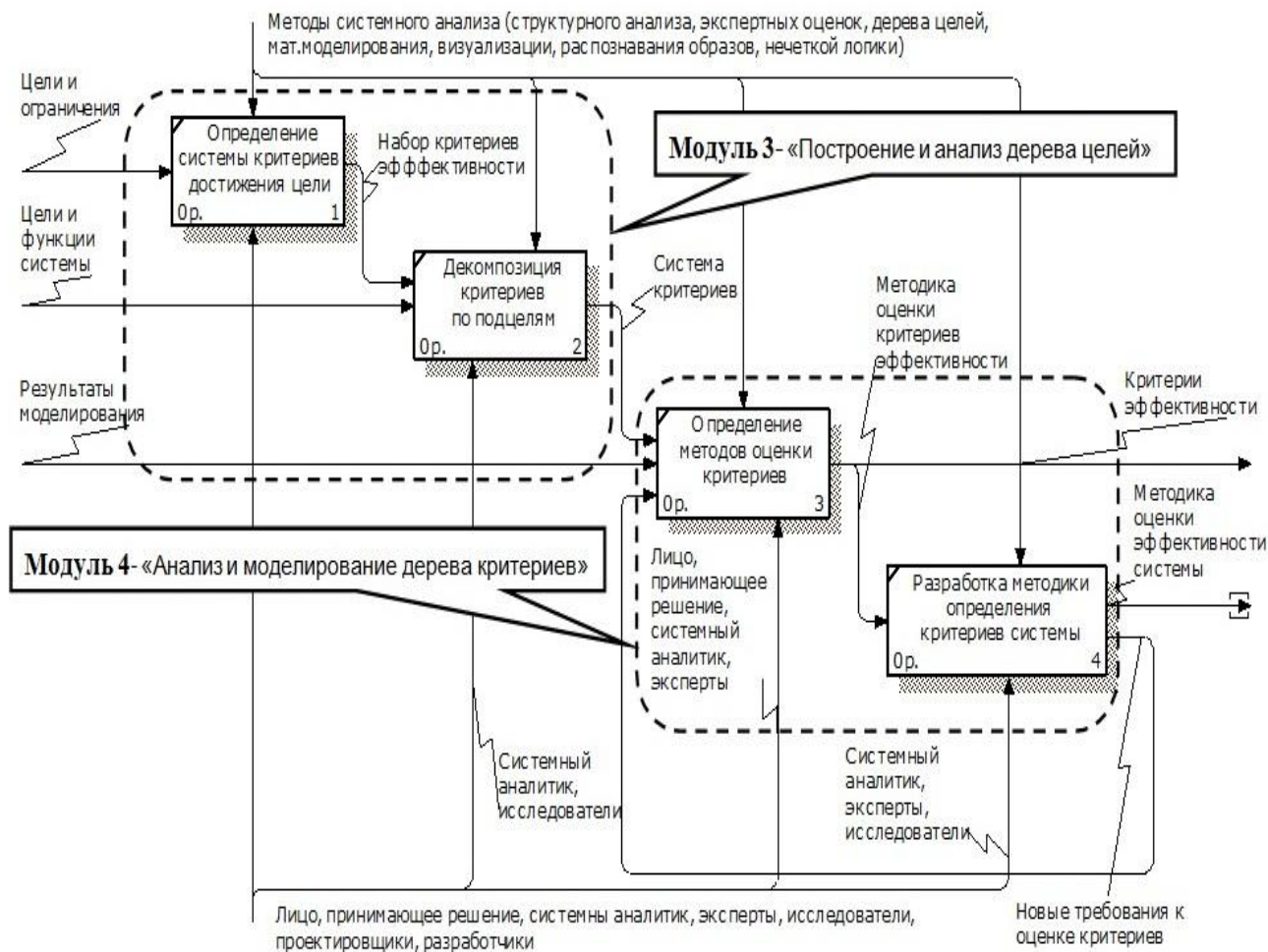


Рис. 6. Технология ЭКАМ – модули 3,4.

Модуль анализа и моделирования дерева критериев. Входной информацией для данного модуля является модель дерева целей, являющаяся результатом моделирования на основе системы критериев и реализованная одним из двух способов, описанных выше, а выходом – методика оценки критериев эффективности и эффективности системы в целом (модуль 4, рис. 6) в виде набора значений критериев эффективности, характеризующих степень достижения системой глобальной или локальных целей, представленных в виде дерева критериев, соответствующих иерархически дереву целей системы (рис. 3).

Модуль анализа и моделирования дерева критериев в работе реализован с использованием теории нечетких множеств и нечеткой логики Заде [2] двумя способами:

первый – посредством представления связей дерева целей нечеткими описаниями и составления на их основе нечеткого логического выражения;

второй – посредством нечетких логических выводов, основанных на нечетких логических правилах «если – то» (нечеткая база знаний (НБЗ)).

Рассмотрим первый способ моделирования дерева критериев. Как результат

работы предыдущего модуля имеем глобальную цель, декомпозированную по уровням иерархии до локальных целей, представляющих собой, с другой стороны, критерии эффективности. При этом параллельно с построением дерева целей экспертами дана оценка связей между локальными целями как по горизонтали на одном уровне, так и по вертикали по соседним уровням иерархии. Связи между ветвями дерева оценены как «сильные», «слабые» и «обратные».

В технологии ЭКАМ с учетом нечеткой логики Заде [3] «сильные» связи обозначены через оператор *min*, а «слабые» – *max*. Обратные связи – через оператор «отрицание».

В данной интерпретации критерии эффективности (цели низкого уровня) представляют собой лингвистические переменные со своими терминами.

Пример гипотетического дерева целей с нечеткими связями дан на рис. 7.

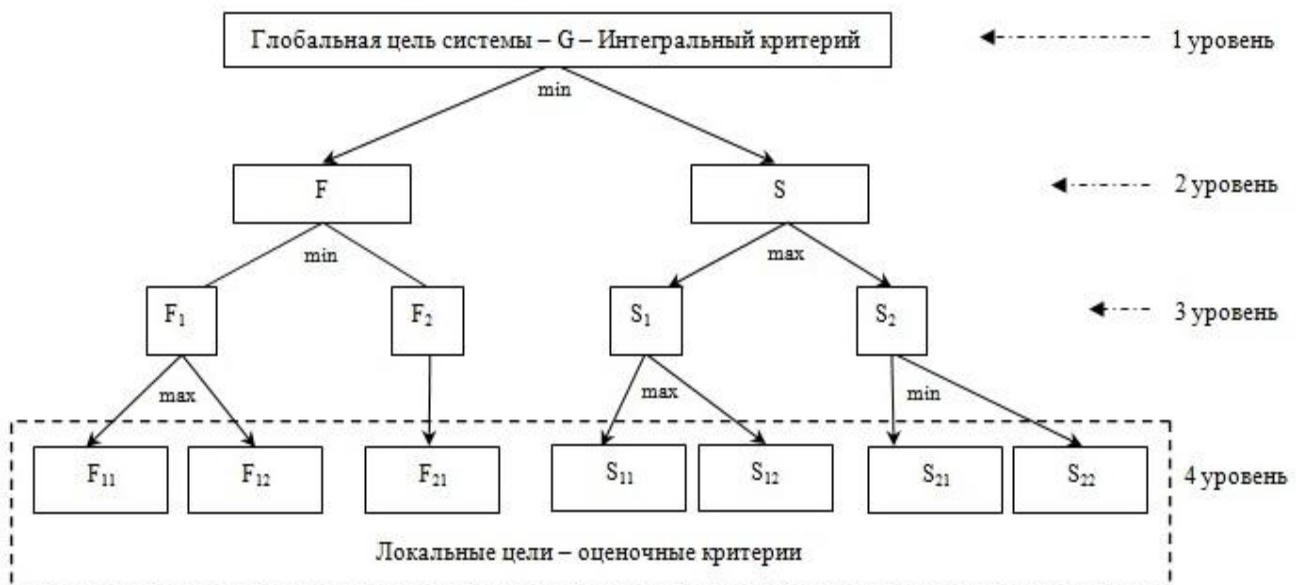


Рис. 7. Пример дерева целей для нечеткой БЗ.

Используя аксиоматику нечеткой логики Заде и свойства нечетких операций на основе нечеткого дерева целей, можно получить логическое выражение, удобное для количественного расчета интегрального критерия эффективности.

Однако такой подход является малоэффективным, так как малейшее изменение структуры дерева целей приведет к необходимости повторного составления нечеткого логического выражения для интегрального критерия эффективности с учетом принятых изменений.

В этом смысле предпочтительным является способ составления нечетких логических правил «если – то», построение на их основе нечеткой базы знаний и организация нечеткого вывода (в работе использован нечеткий логический вывод Мамдани).

Заключение

Для более эффективного и оперативного принятия решений на этапе «Определение целей» при формализации в технологии ЭКАМ предлагается в даль-

нейшем введение понятия «динамические нечеткие правила» и на их основе построение динамической нечеткой базы знаний. Предложенная форма организации нечеткой базы знаний обеспечит автономное обновление нечетких правил для модуля анализа и моделирования дерева критериев.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Симанков В.С.* Автоматизация системных исследований: Монография (научное издание). КубГТУ. – Краснодар, 2002.
2. *Zade L.A., Kasprzyk J.* Computing with Words in Information // Intelligent Systems – N.Y.: Physica – Verl. 1999.
3. *Заде Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
4. *Шпехт И.А., Саакян Р.Р., Чепенко Р.В.* Программный комплекс динамической визуализации многомерных данных (Алгоритм «ЛОТОС»). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010612788. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ, 2010.
5. *Шпехт И.А., Саакян Р.Р., Бурло А.Н.* Программный комплекс динамической визуализации многомерных данных (Алгоритм «ДИВИЗ»). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010612789. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ, 2010.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.Д. Плутенко.

E-mail:

Шпехт Ирина Александровна.А. – shpekht@mail.ru;

Симанков Владимир Сергеевич – vs@simankov.ru;

Саакян Рустам Рафикович – rsahakyan@yahoo.com.

Пятая (юбилейная) Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2011 состоится в Санкт-Петербурге (Россия) 19-21 октября 2011 года.

Научная программа конференции включает следующие тематические направления:
теоретические основы и методология имитационного моделирования;
методы исследования и оценки качества моделей;
методы и системы распределенного моделирования;
моделирование глобальных процессов;
средства автоматизации и визуализации имитационного моделирования;
системная динамика с обязательным наличием имитационной составляющей;
практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования;
имитационное моделирование в обучении и образовании.

Дополнительная информация размещена на сайте <http://immod.gpss.ru>

Последний день подачи заявки – 16 сентября 2011 года.