ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р10-2000-180

В.Н.Самойлов

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ

Направлено в журнал «Автоматизация проектирования»

2000

1. Введение

В настоящее время теория систем и системного анализа представляет бурно развивающуюся область знаний, находящую все более широкое применение при разработке и развитии систем организационного управления, проектировании сложных научно-технических комплексов и создании соответствующих информационных систем. В поисках методов моделирования проблемных ситуаций исследователи обращаются к различным разделам математики, предлагая новые методы постановки задач и принятия решений по разработке и совершенствованию сложных процессов. Для решения задач с большой степенью неопределенности привлекаются теория множеств, математическая логика, математическая лингвистика, теория графов, системный анализ. Методы моделирования сложных систем можно разделить на два больших класса: методы формализованного представления систем и методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов. Постановка любой задачи заключается в том, чтобы перевести ее сложное вербальное описание в формальное, что является составной частью процедуры принятия решения. Иными словами, перевод вербального описания в формальное, осмысление, интерпретация модели и получаемых результатов становятся неотъемлемой частью каждого этапа моделирования сложного развивающегося «объекта – системы – процесса» [1–3].

В любой сфере деятельности человек принимает решения. В случае же, когда решение задачи базируется на известных законах физики, химии и других фундаментальных областей знаний, или когда проблема может быть описана в терминах прикладных задач, для которых разработан соответствующий математический аппарат, проблемы принятия решения не существует. Потребность в этом термине и разработке механизмов принятия решения возникает в тех случаях, когда для постановки и решения той или иной задачи не может быть сразу определен подходящий аппарат формализации, т.е. задача превращается в проблему. При моделировании сложных развивающихся и неструктурированных процессов постановка цепочки взаимосвязанных задач становится проблемой, для решения которой требуется разработка специальных подходов, приемов и методов, которые позволяют анализировать возникающие вопросы таким образом, чтобы решение по проблемной ситуации о превращении проблемы в задачу было принято. В конечном итоге для реализации процедур «измерение – оценка – принятие решения» нужно построить формализованное выражение, связывающее цель или систему целей: получение результата с заданными характеристиками наиболее эффективным способом при устойчивом функционировании «объекта – системы – процесса», со средствами ее достижения с помощью вводимых критериев достижимости цели и оценки необходимых средств, т.е. критерия функционирования, критерия или показателя эффективности, целевой или критериальной функции, функции цели [1, 2]. При изучении слабоструктурированных и неструктурированных процессов невозможно однозначное установление всех взаимосвязей между подпроцессами, поэтому решение по выбору и формированию информационной модели принимают в результате анализа переменных, характеризующих эти взаимосвязи [1]. В работах [4, 5] разработаны модифицированный метод анализа соответствий и итерационный метод динамического группирования переменных, позволяющие совместно анализировать качественные и количественные переменные в информационном пространстве модели измерений сложных многофакторных процессов, необходимые для формирования моделей целей, процедур измерения, оценки и принятия решений.

Целью настоящей работы является разработка эффективных методов определения меры и показателей тесноты взаимосвязей между указанными переменными, выделения наиболее существенных переменных и формирования структурно-функциональной базовой модели целей. Разработанные методы являются основой пакета прикладных программ автоматизированной информационной системы для формирования банков данных информационной модели и обеспечения поддержки сложного процесса.

Структура работы следующая. В разделе 2 рассмотрены математические процедуры выбора существенных переменных. В разделе 3 представлен метод определения показателей тесноты взаимосвязи между технико-экономическими параметрами информационной модели. В разделе 4 дано описание методов построения базовой структурно-функциональной модели целей и обобщенных признаков элементарных объектов. В разделе 5 рассмотрены примеры структурно-лингвистического описания проблемных ситуаций, характерных для анализа пары «проблема – задача».

2. Математические процедуры выбора существенных переменных

Выбор существенных переменных информационной модели – итеративный процесс. Схема такого процесса приведена на рис. 1. Он начинается с формирования информационного пространства модели измерений «объекта – системы – процесса». Затем, согласно классификатору, проводится сбор статистических данных о технологическом процессе. После этого оценивается теснота связи между переменными, на основе этого производится выбор существенных переменных с учетом достоверности оценки тесноты взаимосвязи. Далее проводится проверка полноты информационной модели. В том случае, если информационная модель не полна, то переходят к определению причин ее неполноты. Такой причиной может быть или недостаточность статистических данных (в этом случае необходимо проведение дополнительного сбора данных), или неполнота классификатора (в этом случае необходимо пополнение классификатора). Наполнение классификатора требует проведения дополнительной научно-исследовательской или опытно-конструкторской работы для выявления новых переменных. На этом завершается текущий шаг итеративного процесса выбора существенных переменных.

Изучение пространства переменных, задающего описание структурных элементов информационной модели, непосредственно влияет на выбор пути в процедуре принятии решений. Важно установление взаимосвязей переменных, так как в случаях, когда две или более переменных сильно связаны между собой, можно без ущерба для качества принятия решений исключить из рассмотрения одну или несколько переменных. Это обстоятельство приводит к задаче поиска небольшого набора существенных (наиболее информативных) переменных, которые необходимы для построения алгоритма принятия решений при сокращенном числе переменных без значительной потери информации. При выборе существенных переменных нельзя действовать, исходя исключительно из формальных критериев. В ряде случаев необходимо сохранить переменную в пространстве описаний, что может быть обусловлено постановкой задачи (рис. 1), так как информативность переменной относительна и зависит от цели исследований.

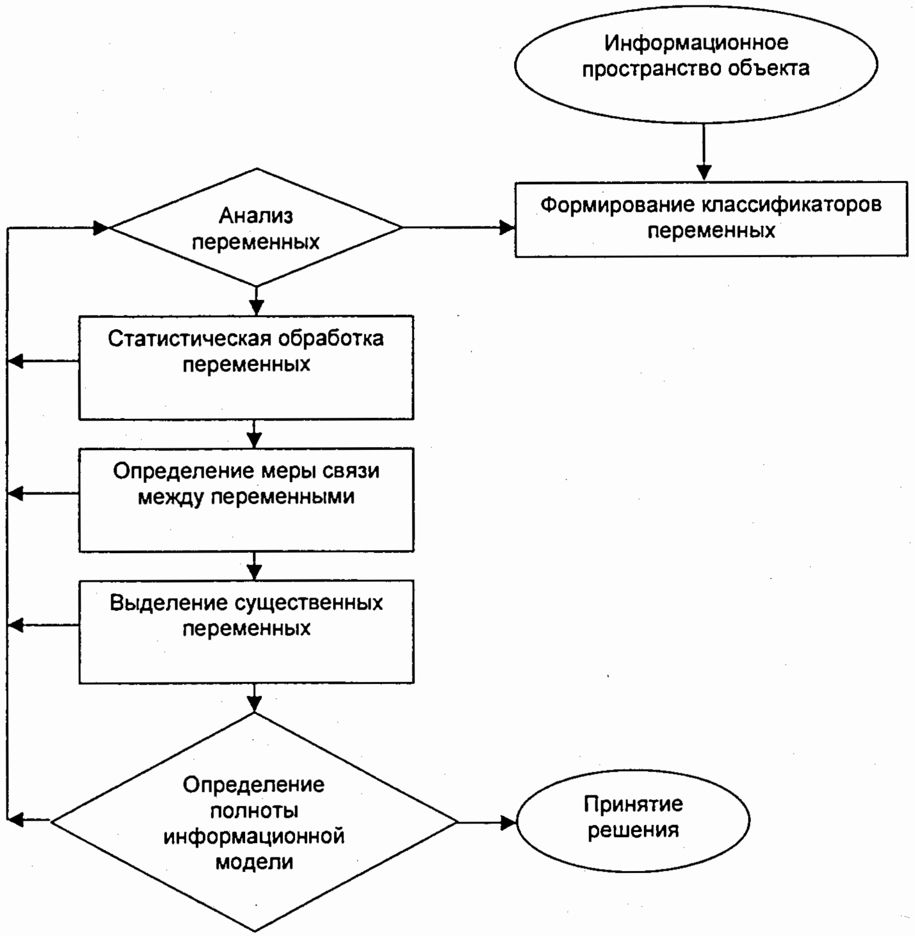

Рис. 1. Схема итеративного процесса выбора существенных переменных

Возможны два способа выбора существенных переменных. К первому способу относятся методы, позволяющие сократить размерность пространства без видоизменения переменных. Среди них можно выделить так называемую группировку взаимно коррелированных переменных, когда, например, матрица связей преобразуется к блочно-диагональному виду, а затем из каждого блока (группы переменных) выбирается одна переменная, образующая в сочетании с подобными представителями других групп совокупность существенных переменных. Распространенные методы выделения существенных переменных основаны на построении линейной регрессионной модели. В этом случае поиск переменных осуществляется последовательным исключением (или введением) из (в) модели переменных, а их отнесение к разряду существенных переменных определяется в соответствии с изменениями множественного коэффициента корреляции. Ко второму способу относятся методы, в которых снижение размерности информационного пространства происходит одновременно с его преобразованием, – это факторный анализ, метод главных компонент, канонический анализ. Характерной особенностью этого подхода является то, что происходит выбор и оценка значимости не отдельных переменных, а «информативных по совокупности» групп переменных. Второй способ адекватен для исследования «эксплуатации», а также для исследования структурированных технологических процессов.

Согласно схеме (рис. 1) в конце очередного шага итеративного процесса рассматривается выполнение условия полноты информационной модели. Следует различать два класса задач, связанных с оценкой полноты информационной модели, – это оценки достаточности и необходимости некоторой совокупности переменных. Проверка набора переменных на необходимость нужна для сокращения числа переменных, т.е. здесь решается задача выделения существенных переменных. Проверка на достаточность состоит в определении адекватности информационной модели с учетом требований, предъявляемых к системному анализу. Следует помнить, что проблему минимизации пространства описаний, т.е. выбор существенных переменных, нельзя рассматривать в отрыве от правил построения решающих функций модели измерений.

Выбор существенных переменных непосредственно связан с определением тесноты и формы связи между переменными. При анализе слабоструктурированных процессов необходимо решение двух задач. Во-первых, определение тесноты связи между переменными и, во-вторых, определение формы связи между ними. Если предположить полиномиальную зависимость между переменными, то подходящими и достаточно разработанными являются методы, используемые в теории планирования эксперимента.

Меры связи могут характеризоваться большим числом признаков. Идеальная мера связи должна отвечать следующим условиям:

– принимать значение, равное нулю, тогда и только тогда, когда рассматриваемые случайные переменные статистически независимы, а также значение, равное единице, тогда и только тогда, когда между величинами имеется «жесткая» функциональная связь;

– указывать на степень зависимости в случае не только линейной, но и нелинейной регрессии;

– определяться таким образом, чтобы можно было найти выборочное распределение случайной величины (x, y), причем желательно без каких-либо предположений о его характере. Это условие трудновыполнимо, поэтому можно ограничиться получением предельного выборочного распределения меры;

– использоваться как для непрерывных случайных, так и для дискретных величин. В частности, должна существовать возможность определения зависимости в случае качественных случайных переменных с помощью меры;

– определяться так, чтобы была возможность выявлять функциональную зависимость между мерой и коэффициентом корреляции.

Желательно также обеспечить выполнение двух следующих условий: 1) аналитический вид меры должен быть сравнительно простым, чтобы обеспечить возможность ее использования на практике; 2) расчеты, связанные с мерой, не должны быть слишком громоздкими. Перечисленные условия, которым должна отвечать рационально определенная мера связи, трудновыполнимы. Этим объясняется разнообразие выбора мер оценки

тесноты связи, используемых на практике, которые позволяют решать поставленную задачу, поэтому приведем некоторые примеры.

Коэффициент зависимости Хеллвига рассчитывается для переменных (x, y) следующим образом:

– строится специальная таблица, содержащая в каждой клетке оценку вероятности $\hat{p}_{ij}$ наступления совместного события $(x = x_i,\ y = y_i)$ и произведение оценок вероятностей p_i и q_i наступления событий $(x = x_i)$ и $(y = y_i)$;

– в каждой клетке этой таблицы сравниваются два числа и отыскиваются клетки, для которых справедливо неравенство $\hat{p}_{ij} > p_i q_j$;

– вычисляется оценка коэффициента взаимосвязи по следующей формуле:

$$\partial = \sqrt{\frac{\sum\limits_{(i,j)\in M} \hat{p}_{ij} - \sum\limits_{(i,j)\in M} p_i q_j}{1 - \dfrac{1}{\min(r,s)}}}. \qquad (1)$$

Здесь M – множество клеток, для которых справедливо неравенство $\hat{p}_{ij} > p_i q_j$, r – число строк, s – число столбцов.

Практическое значение этого коэффициента определяется тем, что, как непараметрическая мера зависимости, он может использоваться в тех случаях, когда обе переменные измеримы или неизмеримы, одна измерима, а другая неизмерима, когда обе переменные непрерывны или дискретны, или могут принимать множество значений, или всего два. Существенным недостатком этой меры является отсутствие предельного выборочного распределения.

Выборочный коэффициент корреляции рассчитывается для всех пар переменных, и составляются матрицы коэффициентов корреляции для всевозможных пар структурных элементов информационной модели. Для каждой пары переменных (x, y) вычисляются:

а) выборочный коэффициент корреляции

$$R_{xy} = \frac{\sum\limits_i x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{(n-1)\sigma_x \sigma_y}, \qquad (2)$$

где $\bar{x}$, $\bar{y}$ – оценки математического ожидания переменных x, y; σ_x, σ_y – оценки среднеквадратичного отклонения переменных, n – количество переменных;

б) стандартная ошибка коэффициента корреляции

$$S_{xy} = \frac{1}{2}\lg\frac{1+R_{xy}}{1-R_{xy}}; \qquad (3)$$

в) нормированное отклонение

$$t_{xy} = \frac{R_{xy}}{\sqrt{1-R_{xy}^2}}\sqrt{n-2}. \qquad (4)$$

Наиболее важным достоинством этой меры связи является то, что в случае нормального распределения переменных коэффициент корреляции, равный нулю, означает отсутствие статистической связи между переменными, а равный единице – наличие «жесткой» линейной функциональной связи между переменными. К числу недостатков этой меры связи следует отнести то, что эта мера плохо определяет наличие зависимости между переменными в том случае, если их функциональная зависимость носит нелинейный характер. Кроме того, она, как правило, применяется к переменным, измеренным в интервальной шкале или в шкале отношений.

Выборочный коэффициент ранговой корреляции Кендалла рассчитывается для пары переменных (x,y). Для этого необходимо выполнить следующие действия:

– упорядочить элементы выборки (x_i, y_i) по неубывающим значениям x, т.е. получить в результате отображение

$$\begin{pmatrix} x_1, x_2, \dots, x_n \\ y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^* \end{pmatrix}; \qquad (5)$$

– упорядочить $y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^*$ в неубывающую последовательность и для каждого $y_j^* (j = 1, n)$ определить r_j – номер элемента y_j^* в упорядоченной последовательности, т.е. ранг элемента y_j^*;

– заменить в (5) элементы x_i, y_j^* соответствующими им рангами, т.е. построить подстановку

$$\begin{pmatrix} 1, 2, \dots, n \\ r_1, r_2, \dots, r_n \end{pmatrix}; \qquad (6)$$

– найти число $s_i (i = 1, n)$ таких рангов r_j в подстановке (6), для которых справедливо неравенство

$$r_j > r_i \text{ при } i > j;$$

– вычислить коэффициент ранговой корреляции Кендалла по формуле:

$$\tau_{xy} = \frac{4\sum_i s_i}{n(n-1)} - 1. \qquad (7)$$

Коэффициент Кендалла можно использовать для переменных, измеренных в порядковых и интервальных шкалах, а также в шкале отношений. Достоинством этой меры связи является то, что она применима при любых видах функциональной зависимости, которые являются монотонными (в этом же ее главный недостаток).

Выборочный коэффициент ранговой корреляции Спирмена рассчитывается для пары переменных (x,y). При этом выполняются следующие действия: 1) построение подстановки (6) как в алгоритме расчета коэффициента ранговой корреляции Кендалла; 2) вычисление коэффициента ранговой корреляции Спирмена по формуле:

$$\rho_{xy} = 1 - \frac{6\sum_i (r_i - i)^2}{n(n^2-1)}. \qquad (8)$$

Коэффициент Спирмена обладает теми же достоинствами, а также недостатками, что и коэффициент ранговой корреляции Кендалла. Они отличаются лишь разным поведением в интервале (0,1).

Поскольку корреляционные отношения Пирсона являются несимметричными, то происходит расчет меры связи как $e(x,y)$, так и $e(y,x)$. При этом сначала для каждой переменной рассматриваемой пары необходимо выполнить следующие действия:

а) определить стандартное отклонение условных математических ожиданий

$$S^2(\bar{x}_j)=\frac{\sum_j\left[(x_j-\bar{x})^2\sum_i n_{ij}\right]}{\sum_i\sum_j n_{ij}},\quad S^2(\bar{y}_i)=\frac{\sum_i\left[(y_i-\bar{y})^2\sum_j n_{ij}\right]}{\sum_i\sum_j n_{ij}};\tag{9}$$

б) вычислить условные дисперсии:

$$S^2(x_j)=\frac{\sum_i\left[(x_i-\bar{x}_j)^2 n_{ij}\right]}{\sum_i n_{ij}},\quad S^2(y_i)=\frac{\sum_j\left[(y_j-\bar{y}_i)^2 n_{ij}\right]}{\sum_j n_{ij}};\tag{10}$$

в) найти суммарные дисперсии:

$$S^2(x)=\overline{S_j^{\,2}(x)}+S^2(\bar{x}_j),\quad S^2(y)=\overline{S_i^{\,2}(y)}+S^2(\bar{y}_i),\tag{11}$$

где

$$\overline{S_j^{\,2}(x)}=\sum_j S^2(x_j)\frac{\sum_i n_{ij}}{\sum_i\sum_j n_{ij}},\qquad \overline{S_i^{\,2}(y)}=\sum_i S^2(y_i)\frac{\sum_j n_{ij}}{\sum_i\sum_j n_{ij}}.\tag{12}$$

Затем рассчитываются корреляционные отношения Пирсона:

$$e(x,y)=\frac{S^2(\bar{x}_j)}{S^2(x)},\qquad e(y,x)=\frac{S^2(\bar{y}_i)}{S^2(y)}.\tag{13}$$

Рассмотренная мера связи применяется для оценки показателя тесноты связи переменных, измеренных в номинальной, порядковой, интервальной шкалах и шкале отношений. Такая мера позволяет определять взаимосвязь переменных, между которыми существует функциональная зависимость не только линейного, но и нелинейного вида. В этом заключается основное преимущество данной меры связи перед многими другими мерами. К основным недостаткам этой меры следует отнести несимметричность по отношению к переменным, что затрудняет интерпретацию тесноты связи, и необходимость получения большого числа измерений для достоверного высказывания о наличии или отсутствии связи между переменными.

Бисериальный коэффициент корреляции рассчитывается по формуле:

$$\beta_{xy}=\frac{\left[\frac{\sum_{y_i\in M_1}x_i}{n_1}-\frac{\sum_{y_j\in M_0}x_j}{n_0}\right]\frac{\sqrt{(n_1-n_0)}}{n}}{\sqrt{\frac{\sum_i(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}},\tag{14}$$

где x и y – пара переменных, причем y имеет только две градации: I_0 и I_1; n – общее число измерений; M_1 – множество всех измерений переменной y, равных I_1; M_0 – множество всех измерений переменной y, равных I_0; n_1 – число измерений переменной y, равных I_1; n_0 – число измерений переменной y, равных I_0; $\bar{x}$ – оценка математического ожидания переменной x.

Данная мера связи предназначена для определения показателя тесноты связи между парой переменных, одна из которых качественная и может принимать лишь два значения.

Дихотомический коэффициент корреляции рассчитывается по следующей формуле:

$$\alpha_{xy}=\frac{2\sum_i p_i\sum_j p_{j/i}\log(p_{j/i}/p_j)}{1+2\sum_i p_i\sum_j p_{j/i}\log(p_{j/i}/p_j)},\tag{15}$$

где $p_i=\frac{n_i}{n}$; $p_{j/i}=\frac{n_{ij}}{n_i}$; $p_j=\frac{n_j}{n}$; $n_i=\sum_j n_{ij}$; $n_j=\sum_i n_{ij}$; n_{ij} – абсолютная частота наступления событий $(x=x_i,\ y=y_i)$; n – минимальное число измерений. Эта мера связи предназначена для определения показателя тесноты связи только лишь между качественными переменными.

Принятие решения по автоматизации технологического процесса может происходить следующим образом. Исследуется типовой технологический процесс, для которого можно задать несколько наборов существенных переменных, каждый из которых обеспечивает полноту информационной модели. На базе этих наборов существенных переменных строится полином Жегалкина, имеющий в общем случае следующий вид:

$$y = C_0 + (C_1 \lambda x_1) + ... + (C_n \lambda x_n) + ... + (C_{1,2} \lambda x_1 \lambda x_2) + ... + (C_{n,n-1} \lambda x_{n-1} \lambda x_n) + ... + (C_{1,2,...,n} \lambda x_1 ... \lambda x_n), \quad (16)$$

где (+) – операция сложения по модулю 2; λ – операция логического умножения; $C_0, C_1, ..., C_{1,2,...,n}$ – коэффициенты полинома Жегалкина, являющиеся булевскими величинами; x_i – булевская переменная, принимающая значение «истина», если x является существенной переменной, и «ложь», если x не является существенной переменной. Например, при $n = 3$ полином Жегалкина имеет вид:

$$y = C_0 + (C_1 \lambda x_1) + (C_2 \lambda x_2) + (C_3 \lambda x_3) + (C_{1,2} \lambda x_1 \lambda x_2) + (C_{1,3} \lambda x_1 \lambda x_3) + (C_{2,3} \lambda x_2 \lambda x_3) + (C_{1,2,3} \lambda x_1 \lambda x_2 \lambda x_3). \quad (17)$$

При анализе конкретного технологического процесса берется полином Жегалкина, построенный для аналогичного типового технологического процесса, и та система датчиков системы измерений, которая используется для исследуемого технологического процесса. По значению полинома Жегалкина принимается решение о возможности автоматизации данного процесса. Принятие решений может осуществляться также и с помощью других методов, например, на основе бейесовских решающих функций, процедур (многокритериального) линейного программирования и т.п.

3. Метод определения тесноты взаимосвязи между параметрами

Показатели тесноты взаимосвязи между технико-экономическими параметрами будем условно называть коэффициентами тесноты связи: коэффициенты тесноты связи между технико-экономическими параметрами внутри компонент – r; коэффициенты тесноты связи, выраженные через технико-экономические параметры, между компонентами информационной модели – k (рис. 2). Коэффициенты тесноты взаимосвязи r_{ij} характеризуют необходимость технико-экономических параметров или прямую связь в контурах модели процесса. Коэффициенты тесноты связи k_{ij} характеризуют достаточность технико-экономических параметров или обратную связь в соответствующих контурах модели процесса.

На основе измеренных значений коэффициентов строим распределения технико-экономических параметров на осях приведенной важности. Результаты построения служат основой для принятия решений по автома-

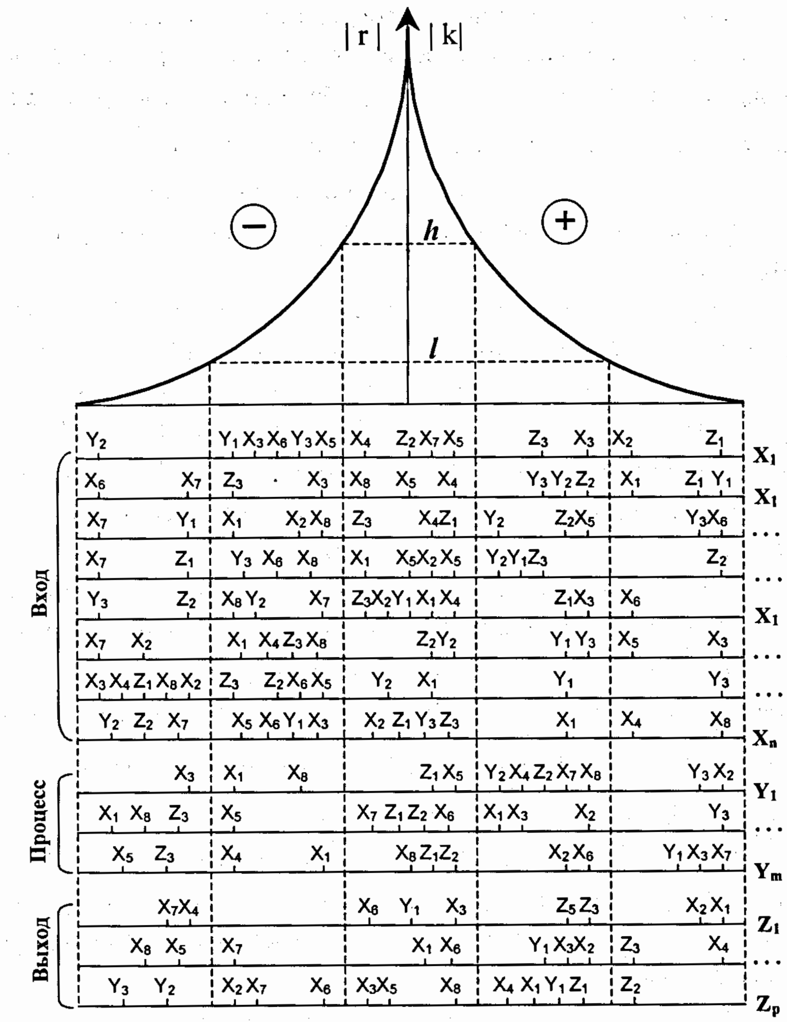

Рис. 2. Общий вид распределения технико-экономических параметров

тизации технологического процесса. Координатами для размещения технико-экономических параметров по осям являются знак при коэффициенте (–,+) и индекс оси $(X_1...X_n, Y_1...Y_m, Z_1...Z_p)$. Абсолютное значение коэффициента откладывается на оси $|r|$; $|k|$. Условная вспомогательная кривая служит для размещения технико-экономических параметров на соответствующих осях приведенной важности по числовым значениям коэффициента тесноты связи.

Для анализа распределения технико-экономических параметров по осям приведенной важности эти оси разбивают на n равных интервалов. Задавая пороговые значения h и l, формируем области определения параметров. Выбор значений h и l определяется требуемой точностью решения задачи. Значения коэффициентов тесноты связи $(|r_{ij}|; |k_{ij}| \geq h)$ свидетельствуют о наличии тесной связи между исследуемыми параметрами. При коэффициентах меньше единицы зависимость между параметрами считается незначительной. Коэффициенты тесноты связи r и k могут принимать любые значения на интервале (0, 1). В зависимости от значений r и k приведенные оси можно условно разбить на три зоны.

Зона I $(|r_{ij}|;|k_{ij}| \geq h)$ характеризует тесную, близкую к функциональной взаимосвязь параметров и регулируется снизу за счет увеличения или уменьшения зоны II.

Зона II $(l \leq |r_{ij}|;|k_{ij}| \leq h)$ с полным основанием называется зоной потерь, так как с увеличением точности определения тесноты связи увеличивается вероятность попадания параметров в зону II, увеличивается неопределенность тесноты связи.

Зона III $(|r_{ij}|;|k_{ij}| \leq l)$ характеризует независимость, или самостоятельность, параметров. Зона независимости параметров ограничена сверху и может увеличиваться или уменьшаться за счет изменения ширины второй зоны.

Отнесение параметров из зоны II к функциональной зоне I или к зоне III относительной независимости можно осуществить при помощи методов экспертных оценок. Тип связи (прямая или обратная) отражен в математическом описании информационной модели системного анализа.

Таким образом, применение математических методов выявления существенных переменных является эффективным инструментом, обеспечивающим установление оптимального набора технико-экономических параметров для постановки и решения конкретных задач. При этом надежность определяется полнотой информационного описания объекта (классификатора), а необходимость и достаточность параметрического описания переменных устанавливается условиями решаемой задачи.

4. Структурно-функциональная модель целей

Несмотря на значительное число работ [6, 7], посвященных осмыслению понятия цели как руководства к действию, до сих пор остается неясной технология конструирования самой цели. Практически всегда принимается априори незыблемость цели, и все последующие усилия тратятся на ее безусловное достижение. Между тем именно в технологии принятия решения находится самое слабое звено, так как на формулировку цели часто влияет субъективный фактор, а иногда и фактор некомпетентности руководителя – лица, принимающего решение (ЛПР). Проблема эта крайне сложная, поэтому мы не ставим перед собой задачу рассмотреть глобальный механизм формирования цели, а ограничимся попыткой переосмыслить понятие «цель» и указать возможные критерии для оценки «цель – результат».

При решении этой проблемы предлагается соотносить ресурсы с потребностями с помощью графа целей, сохраняя при этом условие возможности применения такого решения ко всем составляющим структурно-функциональной модели целей (рис. 3). Независимо от исследуемого объекта граф целей должен быть представлен комплексом функциональных характеристик. Это относится ко всем объектам, рассмотренным в данной и последующих работах. В зависимости от поставленных задач исходной предпосылкой должно быть дерево целевых функций. В основу построения дерева положен принцип формирования функциональных структур.

Рассмотрим более подробно, что такое цель и структурно-функциональная модель с ее информационным наполнением. В дальнейшем под целью мы будем понимать «ожидаемый результат общественно необходимых направленных действий, выраженный комплексом технико-

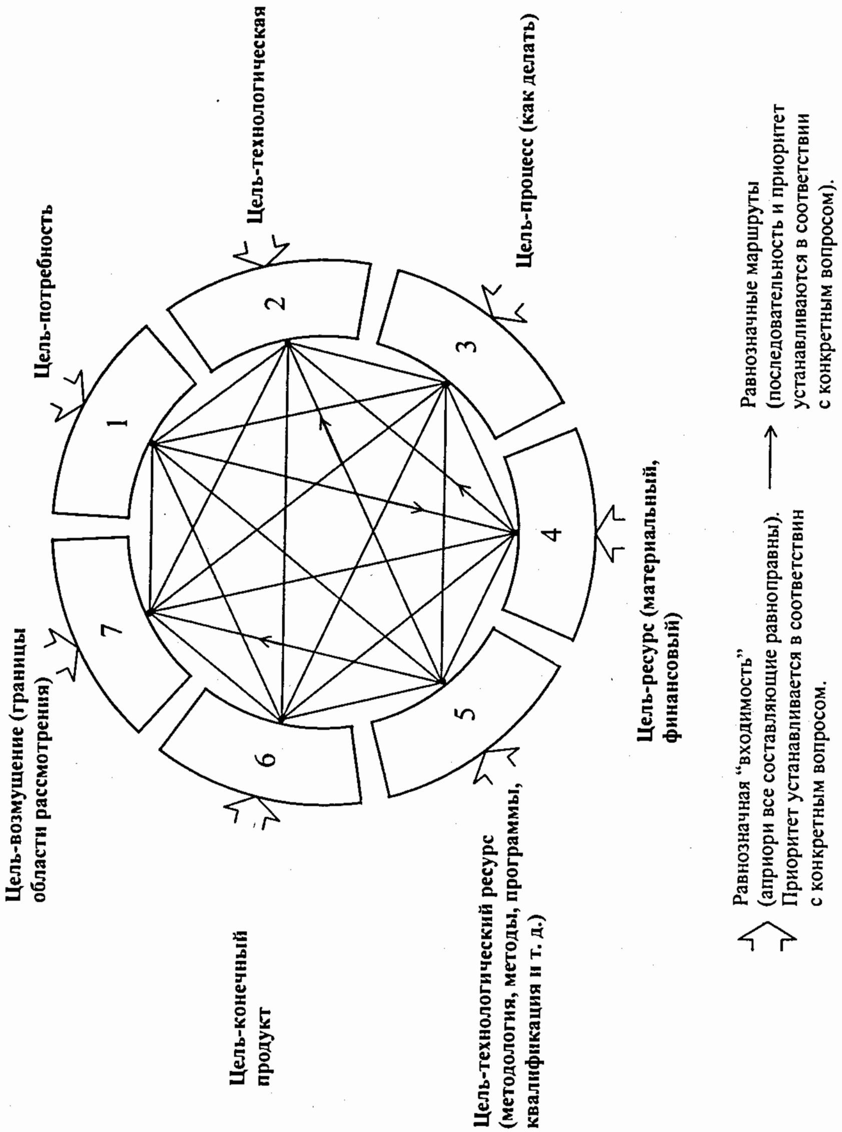

Рис. 3. Базовая структурно-функциональная модель целей

экономических параметров». При формировании цели должны учитываться два основных момента: 1) состав элементов цели; 2) наборы параметров, отражающие цель, должны соответствовать полноте атрибутики (единицы измерения, точность, масштаб, дискретность и др.). Структурно-функциональная модель целей – это сложное структурное образование, включающее элементы, представленные на рис. 3. Содержание указанных элементов приведено в табл. 1.

Таблица 1. Содержание структуры целей

№	Наименование цели	Содержание
1	Цель «потребность»	Что объективно необходимо? Кому (адрес) Сколько (к конкретному адресату) Качественные характеристики, достаточные для описания цели
2	Цель «технологическая»	Что можно получить? Кому (адрес) Сколько (к конкретному адресату) Качественные характеристики, достаточные для описания цели
3	Цель «процесс»	Каким образом (технологический процесс)? Как (вид и способ получения, последовательность, организация) Качественно-количественные характеристики, достаточные для описания цели «процесс»
4	Цель «конечный продукт»	Что нужно получить? (с учетом отсутствия чего-то в 1-3, 5, 6 или превышения результата за счет вскрытия принципиально новых решений, возникающих в комбинации сочетаний остальных целей)
5	Цель «технологический ресурс»	Готовые решения, которые могут быть использованы (методология, методы, способы, технология, последовательность, организация, алгоритмы, программы, обучение и т.п.) с обязательным набором качественно-количественных характеристик, достаточных для применения
6	Цель «ресурс»	Перечисление (наборы) всех видов ресурсов (люди, материальный, финансовый, время, качественно-количественные характеристики, достаточно и полно описывающие ресурс)
7	Цель «возмущение»	Цели 1-6 рассматриваются применительно к заданному уровню стабильности возмущения (условия). Границы стабильности

Все составляющие цели при ее информационном описании априори равнозначны. Однако цель можно считать сформированной только в том случае, если рассмотрены все составляющие, а взаимосвязи между ними образуют информационное пространство, необходимое и достаточное для ее формирования. Существуют два принципиально различных подхода к построению дерева целей:

1) дерево целей строится для решения конкретной задачи, где в качестве ветвей служат уже известные пути решения;

2) дерево целей строится на основе базовой информационной структуры, и для решения конкретной задачи выбираются необходимые элементы для построения дерева.

Первый подход построения дерева целей применяется, как правило, для технических систем и наибольшее распространение получил при построении дерева отказов. Чаще всего такой вид дерева служит основой для решения сложных задач, где число уровней вложенности больше десяти. Эффективность применения такого дерева целей зависит от компетентности руководителя работ – ЛПР. Однако в процессе функционирования сложных технических систем, особенно в случаях, когда дерево целей рассчитано на реализацию в течение длительного интервала времени, возникает необходимость совершенствования отдельных частей системы с использованием достижения научно-технического прогресса (появляются аналоги с улучшенными характеристиками и т.д.) [1]. Это приводит к перестройке всего дерева целей и снижает эффективность применения такого подхода.

Применяя ту же идею об иерархии, можно строить дерево целей вторым способом. В этом случае дерево целей строится не из решения конкретных задач, а с использованием базовой структурно-функциональной модели. Информационное наполнение модели целей определяется принадлежностью каждой цели к определенному классу («потребность», «ресурс», «конечный продукт» и т.д.). Кроме этого выделяют классы целей, получаемые на основе целевых контуров в структурно-функциональной модели целей, которая представляет собой совокупность семи элементов C_i, $i = 1,2,...,7$, и возможные взаимосвязи между элементами модели, т.е.

связи между C_i и C_j $(i \neq j;\ i,\ j \in \{1,2,...,7\})$, которые определяют допустимые целевые контуры (рис. 3).

Виды целей можно геометрически представить графом, который назовем графом G_j возможных видов целей, изображенным на рис. 4. Под целью, соответствующей фиксированному классу, будем понимать допустимый контур в информационной модели целей, представляющий собой выборку по j элементов $(1 \le j \le 7)$ из множества $\{C_1,\ C_2,\ ...,C_7\}$, причем выборка содержит различные компоненты информационной модели. Связи между вершинами уровней определим посредством подмножественного включения, т.е. если G_l – вершина k-го уровня $G_l = \{G_{l_1}, G_{l_2}, ..., G_{l_k}\}$, а G_j – вершина $(k+1)$-го уровня $G_j = \{G_{j_1}, G_{j_2}, ..., G_{j_k}, G_{j_{k+1}}\}$, где $k \in \{1,2,...,6\}$, $G_{t_r} \in \{C_1, C_2, ..., C_7\}$ и $t = l, j$, то между вершинами G_l и G_j определена связь при выполнении условия подмножественного включения $G_l \subset G_j$.

Рассмотрим структурно-функциональную модель целей с точки зрения ее реализации, а именно: объект как совокупность элементов должен быть представлен в виде целенаправленных подсистем, либо, наоборот, синтезирован из множества подобных целенаправленных подсистем. Объект, рассматриваемый как система элементов, не определяется полностью его физическим описанием. Для полного описания должно быть задано информационное содержание (элементы, связи и параметры), а также использованы элементы технологии, управления и т.д. Данная концепция является основополагающей для определения элементарного объекта (ЭО).

Процесс информационного отображения характеризуется большими потоками информации, что вносит элементы неопределенности в описание объекта, которые необходимо структурировать. В то же время излишняя конкретизация целей наносит ущерб получению адекватного информационного описания. Современное состояние математических методов позволяет формализовать весьма сложные задачи. Однако составление полной модели сложных систем, в функционировании которых имеют место зоны неопределенности, вызывает затруднение. В таких условиях методологически обоснованной является схема решения задачи, учитывающая рас-

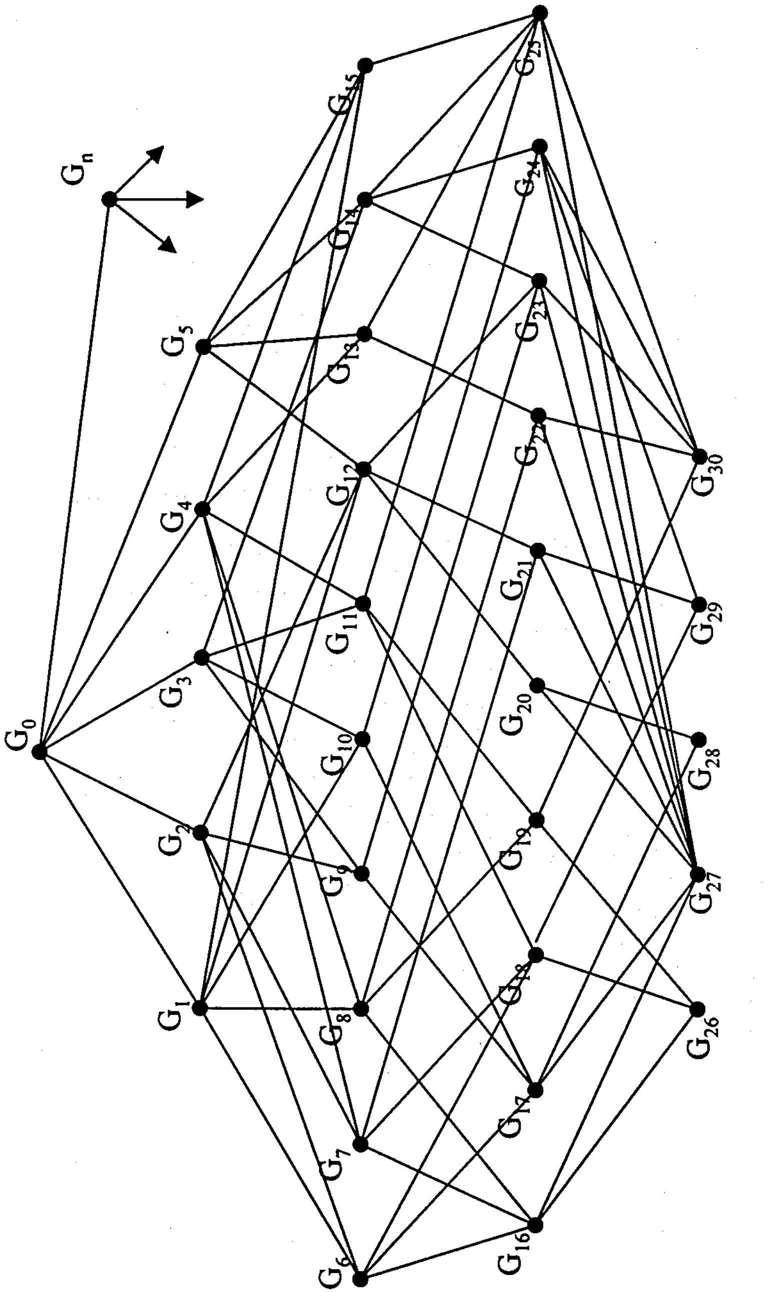

Рис. 4. Граф возможных видов целей

пределение зон неопределенности в процессе информационного отображения.

По характеру неопределенности, возникающей при информационном отображении, можно выделить следующие типы:

– неопределенность по исходным данным N_γ, возникающая по причине различной степени достоверности и полноты представления данных;

– неопределенность по структурообразованиям (структурам) N_s, связанная со стадиями жизненного цикла объекта;

– неопределенность по целям N_g, которая на разных стадиях жизненного цикла имеет разный характер;

– неопределенность по функциям N_φ, обеспечивающим жизненный цикл объекта. Для процесса управления таковой будет неопределенность, связанная с функциями управления;

– неопределенность N_{s_i} по ситуациям, обусловленная разнообразием выбора решений, действий или действия ЛПР при информационном отображении в зависимости от конкретно поставленных целей [7, 8].

Как правило, неопределенность имеет смешанный характер, что представляет некоторые трудности в установлении функциональных зависимостей, поскольку не существует формализованного подхода к «снятию неопределенности». В качестве примера формализации можно рассмотреть анализ признаков исходных данных. Анализ всех типов неопределенностей и их взаимосвязей требует более детального исследования и представляет собой актуальную задачу.

Под признаком будем понимать «параметр (ряд параметров), показатель (ряд показателей) или их сочетание, необходимые для решения конкретной задачи» [9]. Произвольный технико-экономический параметр, кроме значения и наименования, можно охарактеризовать рядом вспомогательных характеристик: наименование (семантика); метод измерения; значение; точность; время получения. Данные характеристики позволяют, в принципе, определить уровень неопределенности для исходных данных.

Введем в рассмотрение форму представления исходных данных в виде обобщенного признака, под которым будем понимать элемент прямого произведения

$$\gamma \in Y_A \subset S \times M \times E \times F \times D \times T,$$

где Y_A – параметрическое описание объекта A. Таким образом, произвольный обобщенный признак имеет вид

$$\gamma = \langle s, m, e, f, d, t \rangle,$$

причем допустимо отсутствие некоторых компонент, которые заменяются формальным значением ($*$), например:

$$\gamma = \langle s, *, e, f, *, * \rangle.$$

Представим более подробное описание компонент обобщенного признака. В отечественной лингвистике приняты следующие уровни языковых высказываний: семантический, синтаксический, морфологический, филологический и фонетический [10, 11]. Последние два только объявлены, но не описаны, поэтому мы не будем их рассматривать. Ниже приводится модель преобразования СМЫСЛ → ТЕКСТ, имеющая название СЕМП [12]. Модель СЕМП включает две компоненты: семантический граф и сведения о коммуникативной организации смысла. Для описания наименования (семантики) параметра эти две компоненты имеют простое строение, поэтому более детальный анализ их приводить не будем [13]. В рассматриваемом случае при описании произвольного объекта на уровне СЕМП определяется набор наименований деталей процессов и т.д., т.е. определяется пространство семантик: $S = \{s\}$. В качестве элемента s этого семантического пространства выберем семантический множитель ($\equiv$ атом смысла), т.е. элемент, не меняющийся при синонимических преобразованиях. Кроме семантического пространства S, зададим множество функций связей f_{ij}. Функция связи – это некоторое отношение между атомами смысла (семантическими множителями s_i и s_j), определяемое наличием в атомах смысла фиксированного множителя («родственник», «поставщик продукции» и т.д.). На основе этих отношений возникает структура семантического вида (уровня СЕМП) – атом смысла.

Перейдем теперь к описанию метода измерения, точности, единицы измерения и значения. Для этого рассмотрим два типа шкал, которые определим как множества вида

$$Ш_1 = \{l_r; r \in R\}, \quad Ш_2 = \{l_1, l_2, \ldots, l_n\}. \qquad (18)$$

Метод измерения определим как операцию, сопоставляющую признаку γ, а именно его значению f_γ, единицу измерения l_γ, некоторые элементы из шкал, определенных соотношениями (18). При измерении возникает понятие погрешности (точности) как некоторой величины отклонения от истинного (физического) значения. Остановимся подробнее на описании этой компоненты обобщенного признака.

В теории численных методов, говоря о возможном совпадении приближенного и истинного значений величины, имеют в виду их арифметическое равенство. Но в практике инженерных решений неразличимость истинного и приближенного решений основывается, конечно, не на их арифметическом равенстве, а на подстановке этих значений в области неопределенности истинного значения величины, т.е. в интервале

$$b_{\text{изм}} - d \le a_{\text{ист}} \le b_{\text{изм}} + d, \qquad (19)$$

где d – граница абсолютной погрешности приближения или нормированная точность. При заданном d информация о том, какое значение в этом интервале является истинным, а какое приближенным, как правило, с точки зрения технических решений оказывается посторонней. Это обстоятельство позволяет абстрагироваться от указаний такого рода, рассматривая просто пары a и b, наделенные точностью d. Так поступают, в частности, когда истинное значение величины заменяют проектным (номинальным), указывая одновременно допуск на фактический размер детали, изделия и т.д.

Область неопределенности (19) можно использовать в качестве условия отождествления, в котором d будет выражать меру неразличимости всех допустимых значений величины, включая и истинное, в интервале нормируемой точности. Формально такое отождествление можно представить либо определением

$$f_1 \underset{d}{=} f_2 \equiv |f_1 - f_2| \le d, \qquad (20)$$

где f_1 и f_2 – числовые объекты (в рассматриваемом случае компоненты обобщенного признака), в частности, приближенные формулы, либо определением

$$f_1 \underset{d}{=} f_2 \equiv |\varphi(f_1) - \varphi(f_2)| \le d,$$

где f_1 и f_2 – любые объекты, например, детали машин, свойства $\varphi(f_1)$ и $\varphi(f_2)$ которых допускают числовую оценку.

Отождествленные таким образом объекты будут d-копиями друг друга, так что данные выше определения оправданны, по крайней мере, в том смысле, какую область неопределенности (19) можно воспринимать как интервал d-неразличимости, причем относительной неразличимости, если d истолковывается как нормированная точность, и абсолютной неразличимости, если d истолковывается как разрешающая способность наблюдателя или прибора (измерительного устройства) отличать два независимых воздействия одно от другого. В обоих случаях посредством определений (19) и (20) тождественность неразличимых величин определяется как их метрическое равенство.

Как известно, арифметическому равенству сопутствует абстракция отождествления. Но метрическому равенству эта абстракция уже не сопутствует. Классы решений неравенства $|\varphi(f_1)-\varphi(f_2)|\le d$ не образуют фактор-множества по d-неразличимости. Поэтому для задач на неразличимость можно принять другую абстракцию – абстракцию неразличимости. Она может быть произвольной, осознанной, например, когда в определенном d-интервале нормированной точности допускается отклонение размеров изделия от проектных, номинальных. Но эта же абстракция может быть и непроизвольной, неосознанной, когда мы просто не можем выяснить различий, лежащих за порогом разрешения, т.е. доступной способности различать.

Метрическое равенство сохраняет, вообще говоря, не все свойства арифметического равенства. Зато оно явно богаче последнего количеством реализаций: решениями $|\varphi(f_1)-\varphi(f_2)|\le d_\gamma$ являются все элементы множества конечных разностей, не превосходящих d_γ по абсолютной величине. При $d_\gamma=0$ метрическое равенство переходит в арифметическое. Определение равенства обычно связывают с возможностью различий, равные же объекты не различают, рассматривая как точные копии друг друга. Поэтому кажется, что логика равенств – это и есть логика неразличимостей, хотя определения (19) и (20) указывают, что это, вообще говоря,

не так, по крайней мере, для метрической неразличимости, для d-равенств в смысле этих определений.

Рассмотрим теперь логику метрической неразличимости, а точнее – алгебру неразличимостей. Для начала условимся о некоторых способах записи. Переменные d_1, d_2,... резервируем для возможных (положительных вещественных) значений точности. Можно считать, что эти значения при определенных условиях выражают порог разрешения наблюдателя или прибора. Очевидно, что порог разрешения тем выше, чем меньше значения d. Так, если R – неразличимость и если $d_1<d_2$, то $R_{d_1}>R_{d_2}$. Для удобства введем дополнительную двойную индексацию: натуральные индексы при переменных d_1, d_2,... будем опускать, заменяя их конкретными значениям d или малыми буквами греческого алфавита – тоже переменными для таких значений. При этом наличие буквы d при символе отношения указывает на то, что это отношение неразличимости. Например, обозначения R_{d_0} и $R_d=0$ равносильны. Они говорят о том, что данная неразличимость совпадает с обычным тождеством. В свою очередь, обозначение R_{d_∞} надо понимать так, что данная неразличимость является полным отношением (бесконечной различимостью), т.е. она имеет место для всех элементов множества, на котором определена. Причем в обозначении R_{d_∞} символ ∞ представляет, вообще говоря, не бесконечное, а любое вещественное (конечное) значение d, при котором R_d – полное отношение на данном множестве. Разумеется, что на другом множестве при этом же вещественном d неразличимость может и не быть полной.

Положим теперь, что M – некоторое конечное множество объектов – результатов измерений или оценок, а $<M^d, j\le>$ – конечное множество неразличимостей (d-равенство) на частично упорядоченных по значениям точности. Тогда естественно вводится понятие решетки неразличимостей (решетки d-равенств). Действительно, пусть $B\subset M^d$ и $B_{d_\alpha}\subset M^d$. Неразличимость R_{d_α} обычным образом определяется как верхняя граница B, если $\beta\le\alpha$ для всех $R_d\in B$. В множестве M^d эта верхняя граница будет и верхней гранью, или sup B. Аналогично определяется нижняя грань, или inf B.

Очевидно, что для всех R_{d_α}, $R_{d_\beta} \in M^d$, существуют $\inf\{R_{d_\alpha}, R_{d_\beta}\}$ и $\sup\{R_{d_\alpha}, R_{d_\beta}\}$, поэтому $< M^\alpha, \le >$ – решетка неразличимостей (α-равенства). К решетке неразличимостей как алгебре $< M^\alpha; \cap; \cup >$ мы переходим посредством определений $R_{d_\alpha} \cap R_{d_\beta} = \inf\{R_{d_\alpha}, R_{d_\beta}\}$, $R_{d_\alpha} \cup R_{d_\beta} = \sup\{R_{d_\alpha}, R_{d_\beta}\}$, т.е. полагая, что пересечение неразличимостей равно меньшей из них, а объединение неразличимостей равно большей из них. Выполнимость всех алгебраических аксиом решетки, т.е. коммутативность, ассоциативность, поглощение нетрудно проверить, исходя из данных определений. Существенно, что алгебра неразличимостей является решеткой.

Введем теперь на множестве M алгебраическую структуру с одной алгебраической операцией – композицией (суперпозицией, наложением) неразличимостей. Эта операция очевидным образом определена на M^d. Она порождает произвольные неразличимости, зависящие от основных, исходных. Требуется только выяснить характер этой зависимости, так сказать, основной метрический закон композиции неразличимостей или d-равенств.

Начнем с самой простой модели, когда M – натуральный ряд чисел и значения также берутся из M. В этом случае для неразличимостей на M метрический закон их композиции имеет вид: $R_{d_\alpha} \times R_{d_\beta} = R_{d_{\alpha+\beta}}$. Очевидно, что коммутативность и ассоциативность композиции неразличимостей естественно индуцируются теми же свойствами арифметического сложения. Таким образом, M^d с операцией композиции – это пример абелевой полугруппы с единицей R_{d_0} и двусторонним сокращением, что также объясняется свойствами арифметического сложения. Свойство ассоциативности композиции позволяет говорить о степени неразличимости. В данной полугруппе степень неразличимости определяется по индукции:

$$R^1_{d_\alpha} = R_{d_\alpha},\ \ R^{n+1}_{d_{\alpha+\alpha n}} = R_{d_\alpha} \times R^n_{d_{\alpha+\alpha(n-1)}},\ \ n = 1,2\ldots.$$

Следовательно, если неразличимость не является полной или обычным тождеством, то свойство $R^2 \subseteq R$ для d-равенств не проходит. Поэтому не проходит и доказательство по индукции более общего утверждения

$$\forall_n (R^n \subseteq R), \tag{21}$$

хотя принцип монотонности для неразличимостей сохраняется. В общем случае включение будет обратным, т.е.

$$R \subseteq R^n. \tag{22}$$

Этот результат не является неожиданным. Он согласуется с определением (18) и (19).

Перейдем теперь к обобщению закона композиции неразличимостей для всех положительных вещественных значений точности. Такая ситуация является стандартной в теории и практике технических и физических измерений. Положим, что R_{d_α} и R_{d_β} – основные неразличимости из M, в которых α и β принимают положительные вещественные значения, причем элементы M – тоже вещественные числа. Тогда приведенный выше закон композиции неразличимостей (21) обобщается следующим образом:

$$R_{d_\alpha} \times R_{d_\beta} = R_{d_\gamma},\ \ \max(\alpha,\beta) \le \gamma \le \alpha + \beta. \tag{23}$$

Этот закон показывает, что в общем случае композиция неразличимостей является интервальной неразличимостью, или интервальным d-равенством. Следовательно, для метрической характеристики композиции неразличимостей одних вещественных чисел недостаточно, а требуются еще интервальные числа. Из d-равенства (23) следует, что ассоциативность композиции интервальных неразличимостей сводится к ассоциативности сложения вещественных или интервальных чисел [14]. Для них операция сложения ассоциативна, и в этом случае мы имеем для неразличимостей алгебраическую структуру коммутативной полугруппы с единицей. Эта структура, по-видимому, интересна с технической точки зрения, хотя идея алгебры неразличимостей не является сугубо прикладной, ее можно связать с прикладными вопросами логики, например, пороговых элементов, характеристикой отношений в системе «допусков и посадок», использующихся в производстве, экспертных оценок или принятия решения при нечеткой исходной информации. Кроме того, вопрос о различимости данных непосредственно связан с понятием алгебры блок-схемы программ, основанной на интервальном рассмотрении функций, с понятием реляционных банков данных на ЭВМ [15]. Отметим, что для отношения неразличимостей справедливо следующее утверждение:

$$\forall_x \forall_y \forall_z (x R_{d_\alpha} y \wedge y R_{d_\alpha} z \supset x R_{d_2} z), \tag{24}$$

т.е. вторая «степень меньше» есть «много меньше», отношение «сын» во второй степени есть «внук», что говорит о различии отношения неразличимости и понятия арифметического равенства относительно пороговой характеристики.

5. Структурно-лингвистическое описание проблемных ситуаций

Вернемся теперь к описанию типов связей обобщенных признаков и типов обобщенных признаков. Определим различные типы обобщенных признаков, для чего введем формальное значение (*), обозначающее отсутствие соответствующей компоненты в $\gamma = < s,m,e,f,d,t >$. Исключим из рассмотрения обобщенные признаки, у которых отсутствует компонента s или одновременно все компоненты. Тогда число различных типов n-признаков оценивается значением $n_\gamma = \sum_{i=1}^{n} C_n^i = 2^n - 1$, т.е. при $n = 5$ значение $n_\gamma = 31$. Перенумеруем всевозможные типы признаков по следующему правилу γ_i: $i = \sum_{j=1}^{5} \delta_j 2^{j-1}$, где $\delta_j = 1$, если на j -м месте стоит (*), и $\delta_j = 0$ в противном случае. В зависимости от количества отсутствующих компонент имеет смысл выделить следующие группы признаков :

$$\Gamma_1 = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_4, \gamma_8, \gamma_{16}\}; \; \Gamma_2 = \{\gamma_3, \gamma_5, \gamma_6, \gamma_9, \gamma_{10}, \gamma_{12}, \gamma_{17}, \gamma_{18}, \gamma_{20}, \gamma_{24}\};$$

$$\Gamma_3 = \{\gamma_7, \gamma_{11}, \gamma_{13}, \gamma_{14}, \gamma_{19}, \gamma_{21}, \gamma_{22}, \gamma_{25}, \gamma_{26}, \gamma_{28}\};$$

$$\Gamma_4 = \{\gamma_{15}, \gamma_{23}, \gamma_{27}, \gamma_{29}, \gamma_{30}\}; \; \Gamma_5 = \{\gamma_{31}\}.$$

Каждая группа обобщенных признаков характеризуется различной степенью неопределенности по компонентам, снятие которой происходит на основе рассмотрения различных ситуаций, а именно проблемных ситуаций и типовых задач. Типы обобщенных признаков выделяются на основе различных степеней «неопределенности» по отношению к компоненте θ, $\theta \in \{s,m,e,f,d,t\}$, “ * ” означает наличие на месте соответствующей компоненты (компонент) ее формального значения. Данные типы обобщенных признаков представлены в табл. 2.

Таблица 2. Типы обобщенных признаков

№	Тип параметров	Номер	Номер группы
1	$< s,*,e,f,d,t >$	γ_1	
2	$< s,m,*,f,d,t >$	γ_2	
3	$< s,m,e,*,d,t >$	γ_4	I
4	$< s,m,e,f,*,t >$	γ_8	
5	$< s,m,e,f,d,* >$	γ_{16}	
6	$< s,*,*,f,d,t >$	γ_3	
7	$< s,*,e,*,d,t >$	γ_5	
8	$< s,m,*,*,d,t >$	γ_6	
9	$< s,*,e,f,*,t >$	γ_9	
10	$< s,m,*,f,*,t >$	γ_{10}	
11	$< s,m,e,*,*,t >$	γ_{12}	II
12	$< s,*,e,f,d,* >$	γ_{17}	
13	$< s,m,*,f,d,* >$	γ_{18}	
14	$< s,m,e,*,d,* >$	γ_{20}	
15	$< s,m,e,f,*,* >$	γ_{24}	
16	$< s,*,*,*,d,t >$	γ_7	
17	$< s,*,*,f,*,t >$	γ_{11}	
18	$< s,*,e,*,*,t >$	γ_{13}	
19	$< s,m,*,*,*,t >$	γ_{14}	
20	$< s,*,*,f,d,* >$	γ_{19}	
21	$< s,*,e,*,*,* >$	γ_{21}	III
22	$< s,m,*,*,d,* >$	γ_{22}	
23	$< s,*,e,f,*,* >$	γ_{25}	
24	$< s,m,*,f,*,* >$	γ_{26}	
25	$< s,m,e,*,*,* >$	γ_{28}	
26	$< s,*,*,*,*,t >$	γ_{15}	
27	$< s,*,*,*,d,* >$	γ_{23}	
28	$< s,*,*,f,*,* >$	γ_{27}	
29	$< s,*,e,*,*,* >$	γ_{29}	IV
30	$< s,m,*,*,*,* >$	γ_{30}	
31	$< s,*,*,*,*,* >$	γ_{31}	V

Введение вспомогательных признаков, по отношению к значению которых удается определить различные степени неопределенности (приведенные ситуации) для той или иной компоненты, позволяет путем соотнесения состояния на множестве вспомогательных признаков, которые обозначим, соответственно,

$$P_\theta = \{P_1, \ \ldots, \ P_N\} \tag{25}$$

и

$$S_{(j)}^{(N)}(P_\theta) = (P_1^{(i1)}, \ P_2^{(i2)}, \ \ldots, \ P_N^{(iN)}),$$

где $P_i^{(j)}$ – j-е значение i-го вспомогательного признака к определенной цели G_i, $i \in \{0, \ 1, \ 2, \ \ldots, \ N\}$, (вершине графа возможных видов целей G_*, изображенного на рис. 4), выделить типы приведенных ситуаций в процессе подготовки принятия решения. Можно также определить области принятия решения:

- SIP – область приведенных ситуаций, соответствующих проблемам (область проблемных ситуаций);
- SIZ – область ситуаций, соответствующих задачам;
- SIN – область ситуаций, не являющихся ни ситуациями типа SIZ, ни ситуациями типа SIP, так называемая область нейтральных приведенных ситуаций (нейтральная область).

Под проблемой и задачей в дальнейшем будем понимать, согласно работе [9], следующее: «проблема – разновидность вопроса, имеющего конкретно поставленную цель, но когда пути ее достижения не могут быть установлены достаточно строго в данный момент времени»; «задача – разновидность вопроса, имеющего конкретно поставленную цель, но когда известен путь (несколько путей) ее решения». Из определений проблемы и задачи следует, что данные понятия, как соответствующие типы приведенных ситуаций, не имеют смысла без фиксации цели (класса целей), что и явилось предпосылкой создания базовой информационной модели целей (рис. 3). В силу того, что процедура принятия решения в нашем случае определена для системы принятия решения типа информационной, возникает необходимость дать более формализованное описание множества приведенных ситуаций, определяемых значениями состояний на компонентах обобщенного признака γ для фиксированной цели (класса целей) G, т.е. $S(G, \ \theta)$.

Систему признаков (25) назовем определяющей системой, а элементы множества приведенных ситуаций, рассмотренные выше, назовем элементарными приведенными ситуациями области однозначности. Вообще говоря, предпосылками выделения приведенных ситуаций SIN, SIP, SIZ послужили следующие аргументы:

- проблемная ситуация, а также ситуация SIN и SIZ возникают при выполнении процедуры принятия решения, т.е. в системах «человек – объект» или «ЛПР – объект», хотя часто понятие «проблема» с процедурой принятия решения не связывают;
- состояния определяющей системы, т.е. сочетания значений вспомогательных признаков, позволяют определить тип ситуации с той или иной степенью неопределенности N_{S_i}.

Под степенью неопределенности N_{S_i} в последнем случае понимается расширение множества $\{SIN, \ SIZ, \ SIP\}$ до получения формул в языке

$$Z = \langle \{SIN, \ SIZ, \ SIP\}, \ \vee, \ \wedge \rangle. \tag{26}$$

Скажем, в языке

$$Z = \langle \{SIN, \ SIZ, \ SIP\}, \ \vee \rangle \tag{27}$$

множество возможных формул есть

$$SIF = \{SIN, \ SIZ, \ SIP, \ SINZ, \ SINP, \ SIZP, \ SI\}, \tag{28}$$

где

$$SINZ = SIN \vee SIZ,$$
$$SINP = SIN \vee SIP,$$
$$SIZP = SIZ \vee SIP,$$
$$SI = SIN \vee SIZ \vee SIP.$$

Множество (28) геометрически интерпретируется фигурой, изображенной на рис. 5.

Введение областей неопределенности тесно связано с языком (26). Рассмотрение языка вызовет естественные изменения в геометрической интерпретации областей неопределенности, но мы ограничимся лишь языком (27), поскольку важен принцип и простота изложения для лучшей демонстрации этого подхода. Тогда R_0 – область приведенных ситуаций, т.е. область однозначности; R_1 – область неопределенности первой степени, состоящая из трех элементов, а именно $SINZ$, $SINP$, $SIZP$; R_2 – область неопределенности второй степени, состоящая из единственного элемента SI. Справедливо разложение

$$SIF = R_0 \cup R_1 \cup R_2 .$$

Таким образом, в общем случае, для конкретного объекта A, рассматриваемого как целенаправленная система (человек – объект или ЛПР – объект), имеем минимальную систему (определяющую) признаков

$$P_* = \bigcup_{\gamma} \min\{P_1,...P_N\} = \{P_i,...,P_m\},\ n \le N^{S_*\gamma}, \tag{29}$$

где минимум определяется из условия однозначности соответствия полного состояния (сочетания всех значений признаков) элементам из R_0 для обобщенного признака γ и фиксированной цели G, а множество P_* определяется объединением по всем γ, соответствующих объекту.

На множестве признаков (25) рассмотрим возможные состояния

$$S(\{P_1,...,P_n\}) = \{P_{i1}^{(j_{i1})}, P_{i2}^{(j_{i2})},...,P_{ik}^{(j_{ik})}\} = \{S^{(k)}\}_{k=1}^{n}, \tag{30}$$

где $k \le n$, $i_l \ne i_m$ при $l \ne m$. Значение состояний обозначим через

$$S^{(k)}(P_*,\ G,\ \gamma). \tag{31}$$

На множестве состояний (30) определим операцию объединения состояний следующим образом:

$$S_1^{(n)} \cup S_2^{(m)} = \left(P_{i_1}^{(ji_1)}, P_{i_2}^{(ji_2)},...,P_{i_n}^{(ji_n)}, P_{l_1}^{(tl_1)},...,P_{l_m}^{(tl_m)}\right), \tag{32}$$

если

$$S_1^{(n)} = \left(P_{i_1}^{ji_1}...P_{i_n}^{ji_n}\right), \tag{33}$$

и

$$S_2^{(m)} = \left(P_{l_1}^{(tl_1)}...P_{l_m}^{(tl_m)}\right)\ t_k \ne l_s \forall s,\ k, \tag{34}$$

где (34) означает условие несовпадения признаков, что равносильно утверждению о непересечении множеств

$$\{P_{l_1},...,P_{l_m}\} \cap \{P_{i_1},...,P_{i_n}\} = 0 .$$

Возвращаясь к изложенному выше, отметим, что справедлива следующая диаграмма:

$$\underbrace{\langle G_i, P_\theta, \theta\rangle \overset{\varphi_2}{\Leftrightarrow} \langle S^{(k)}, G_i, \theta\rangle \overset{\varphi_1}{\Leftrightarrow} SIF}_{\Psi}.$$

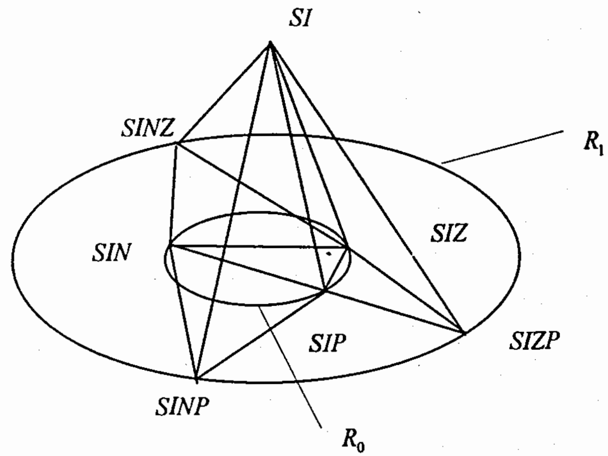

Рис. 5. Область неопределенного типа

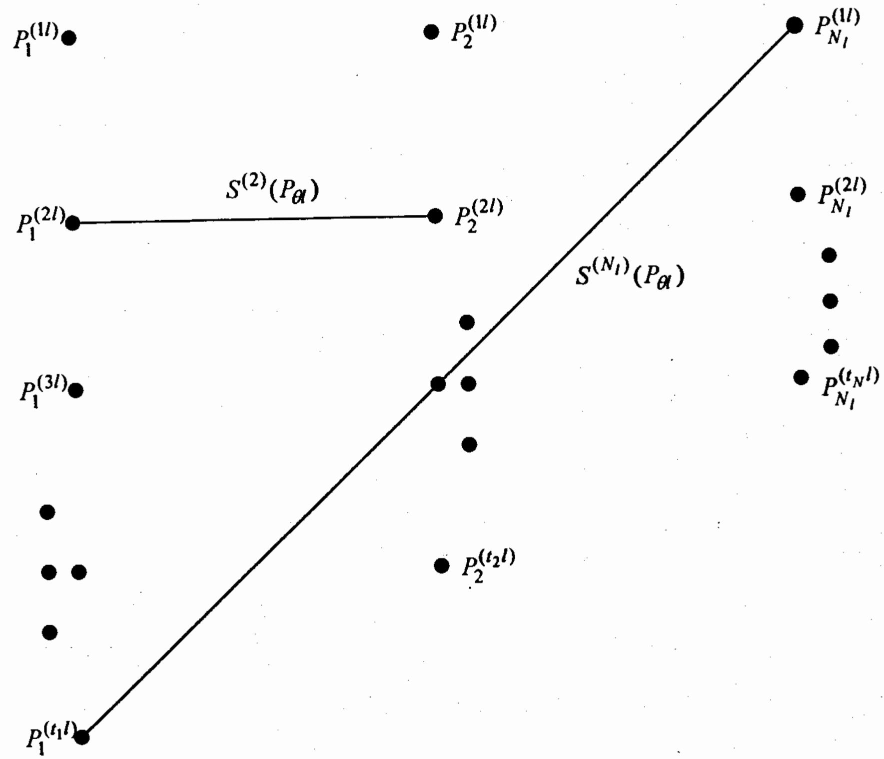

Рис. 6. Граф $G(X_l,\ Y_l)$

Смысл данной диаграммы состоит в следующем: по состоянию S, фиксированной компоненте θ и цели G определяется тип приведенной ситуации из SIF, что на диаграмме отражено в виде связи φ_1 между вторым и третьим элементами. С другой стороны, существует однозначная связь между состояниями и множеством признаков, которое на диаграмме обозначено через P_θ. Тогда из диаграммы следует существование связи между типами ситуаций S и P_θ, которая на диаграмме обозначена пунктирной линией (Ψ), и в некотором смысле отображение Ψ выражает степень адекватности соответствия S сформулированным целям. Предметом следующего исследования будет переход в данной диаграмме от θ к γ и установление связи Ψ. Диаграмма в этом случае примет вид

$$\underbrace{\langle G_i, P_\gamma, \gamma\rangle \Leftrightarrow \langle S, G_i, \gamma\rangle}_{\Psi} \Rightarrow SIF .$$

Для решения данной задачи потребуется построение некоторого формального аппарата, в котором важную роль играет операция (K) на множестве SIF, к определению которой мы переходим. Отметим лишь, что важным направлением в прикладных задачах является применение данного подхода к обработке исходных данных, представляемых в виде обобщенных признаков, и анализу структурообразований (организационных структур, функциональных и т.д.).

В введенной операции (K) значения K могут быть различны, и операция (K) задается матрицей порядка m, где m – число элементов из SIF, для которых данная операция определена. В дальнейшем будем считать, если это не оговорено, что определяющие системы признаков для компонент θ (34), а именно

$$P_{\theta l} = \left\{P_1^{(l)}, P_2^{(l)}, \dots, P_{Nl}^{(l)}\right\};\ \ l = 1,2,\dots,6, \tag{35}$$

фиксированы, как и порядок расположения признаков в этих системах, причем каждый признак характеризуется дискретным набором значений, т.е.

$$P_r^{(j)} = \left\{P_r^{(j1)}, P_r^{(j2)}, \dots, P_r^{(jr)}\right\},\ r \in \{1,2,\dots,N_l\},\ 1 \le l \le 6 .$$

Тогда существуют состояния различной длины t:

$$S^{(t)}(P_\alpha) = \left(P_1^{(1l)}, P_2^{(2l)}, \dots, P_t^{(tl)}\right),\ 1 \le l \le 6,\ 1 \le t \le N_l . \tag{36}$$

Для каждой определяющей системы признаков P_α множество ее состояний можно интерпретировать как гамильтоновы пути в многоуровневом графе $G(X_l, Y_l)$, где каждый i–й уровень соответствует множеству значений i–го признака из P_α. Данный граф представлен на рис. 6.

Отметим тот факт, что для практической реализации достаточно хранить лишь дискретные значения по каждому вспомогательному признаку из (35). В случае, если операция (t) задана и t удовлетворяет ограничениям (36), достаточно хранить отдельно два массива со значениями вспомогательных признаков, с последующим использованием операции (t), точнее, соответствующего поля неопределенности.

На данном рисунке представлены два гамильтоновых пути, соответствующие состояниям $S^{(2)}(P_\alpha)$ и $S^{(Nl)}(P_\alpha)$. Соответствие между состояниями длиной κ

$$S^{(\kappa)}(P_\alpha),\ 1 \le \kappa \le N_l$$

и значением этого состояния для фиксированной цели G

$$S^{(\kappa)}(P_\alpha,\ G) \tag{37}$$

задается с помощью табл.3 и 4.

Область неопределенности тесно связана с полем неопределенности, заданном на основании операции (K), и является результатом, к которому приводит данный подход раскрытия неопределенности в процессе подготовки принятия решения по исходным данным. В результате получаем множество матриц соответствия, которые назовем областями неопределенности, т.е. матрицу соответствия размерности $2 \times M$, где

$$M = t_1 \cdot t_2 \cdot \ldots \cdot t_\kappa , \tag{38}$$

назовем областью неопределенности по состояниям и обозначим через

$$I(K, G, \theta_l) = I\left(P_1^{(l)} \ldots P_\kappa^{(l)}, G, \theta_l\right),$$

$$1 \le \kappa \le N_l,\ \ 1 \le l \le \theta .$$

В практических задачах в некоторых случаях оказывается нецелесообразным получать области неопределенности для $K = N_l$, а более успешен путь определения значений для промежуточного K:

$$1 \le K \le N_l , \tag{39}$$

Таблица 3. Область неопределенности

$S^{(K)}(P_{\theta_2})$	$S^{(K)}(P_{\theta_2},G)$
$P_1^{(1l)},\ P_2^{(1l)},\ \ldots,\ P_K^{(1l)}$	SIZ
$P_1^{(2l)},\ P_2^{(2l)},\ \ldots,\ P_K^{(2l)}$	SIP
....	....
....	....
....	....
$P_1^{(t_1 l)},\ P_2^{(t_2 l)},\ \ldots,\ P_K^{(t_K l)}$	$SIZP$

Таблица 4. Поле неопределенности

${}^{X}(K)_{Y}$	SIN	SIZ	SIP	$SINZ$	$SINP$	$SINP$	SI
SIN				$SINZ$	$SINP$	$SIZP$	SI
SIZ					$SIZP$	$SIZP$	$SIZP$
SIP		R_0					
$SINZ$	$SINZ$			$SINZ$	SI	$SIZP$	SI
$SINP$	$SINP$	$SIZP$		SI	$SINP$	$SIZP$	$SIZP$
$SIZP$	$SIZP$	$SIZP$		$SIZP$	$SIZP$	$SIZP$	$SIZP$
SI	SI	$SIZP$		SI	$SIZP$	$SIZP$	SI

и значений состояний (37) для оставшейся части признаков из определяющей системы. Но тогда встает вопрос об определенности значения полного состояния

$$S^{(N_l)}(P_{\theta l},G), \tag{40}$$

если известны значения

$$\begin{aligned} &S^{(K)}(P_{\theta l},\theta) = SIF_1 \in SIF, \\ &S^{(N_l-K)}(P_{\theta l},G) = SIF_2 \in SIF, \end{aligned} \tag{41}$$

т.е. появляется необходимость введения операции (K), что позволяет определить значение

$$S^{(N_l)}(P_{\theta l},G) = S^{(K)}(P_{\theta l},G)(K)\ S^{(N_l-K)} - (P_{\theta l},G) = SIF_1\ (K)\ SIF_2 = SIF_3 \in SIF \tag{42}$$

на основании заданных состояний (41).

В заключение отметим, что представленные методики необходимы для формирования информационного пространства моделей «измерение – оценка – принятие решений» и алгоритмов постепенной формализации, которые применяются для построения информационных моделей неструктурированных процессов, рассмотренных в работах [16, 17].

Автор благодарен А.Н. Кудинову за полезные советы и обсуждения при подготовке данной работы к публикации.

Литература

1. Самойлов В.Н. Технология моделирования сложных процессов. ОИЯИ, Р10-99-173, Дубна, 1999 г. – 198 с.
2. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. –Санкт-Петербург.: СПбГТУ, 1999, 512 с.
3. Уэко Х., Кояма Т., Окамото Т., Мацуби Б., Исидзука М. Представление и использование знаний. Пер. с япон., под ред. Уэно Х., Исидзука М. –М: Мир, 1989, -220 с., ил. Осуга С. Обработка знаний. Пер. с япон. –М: Мир, 1989. –293 с., ил.
4. Самойлов В.Н. «Модифицированный метод анализа соответствий». Сб. научных трудов ТвГУ, вып. 2, Тверь, ТвГУ, 1999, с. 38-50.
5. Самойлов В.Н. «Синтез состава информации методом группирования переменных», Сб. научных трудов ТвГУ, вып. 2, Тверь, ТвГУ, 1999, с. 51-63.
6. Моррисей Дж. Целевое управление организацией. Пер. с англ. –М.: Радио и связь, 1982. –244 с.
7. Розен В.В. Цель – оптимальная – решение. –М.: Радио и связь, 1982. –244 с.
8. Негойцэ К. Применение теории систем к проблемам управления. Пер. с англ. –М.: Мир, 1981. –179 с.
9. Гвишиани Д.М. Организация и управление. –М.: Наука, 1972. –536 с.
10. Дал О.И., Мюрхауг Б., Ньюгард К. Симула–67 – универсальный язык программирования. –М.: Мир, 1969. –99 с.
11. Зародов А.Ф., Солодовников И.В. Разборка проблемно-ориентированных систем моделирования с помощью языковых средств базы данных. Тем. сборник научных трудов. Автоматизация проектирования цифровых систем управления летательных аппаратов. –Харьков: ХАИ, 1975, с. 56-61.
12. Амитан В.Н. Автоматизированные системы управления в народном хозяйстве. –Киев: Вісша школа, 1982. –207 с.
13. Стабин И.П., Моисеева В.С. Автоматизированный системный анализ. -М.: Машиностроение, 1984, -280 с.
14. Иванов С.Ю., Солодовников И.В. Процедуры оптимального проектирования сложных систем с использованием имитационного моделирования. Автоматизированные системы управления и приборы автоматики, вып. 79. –Харьков: Вісша школа, 1986, с. 9-14.
15. Зародов А.Ф., Иванов С.Ю., Солодовников И.В. Реляционный подход к построению средств имитации в проблемно-ориентированных системах моделирования сложных систем. Гибкие производственные системы. Труды сем. МДНТП. –М.: 1986, с. 38-42.

16. Самойлов В.Н. Технология информационного обеспечения поддержки сложных процессов. Р-10-2000-182. Дубна, 2000 г.
17. Самойлов В.Н. Технология разработки информационных моделей неструктурированных процессов. ОИЯИ. Р-10-2000-181, Дубна, 2000.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 августа 2000 года.