

УДК 303.732

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-449

Данчул Александр Николаевич,
профессор, д-р техн. наук, профессор

О КЛАССИФИКАЦИИ МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИСТЕМ

Россия, Москва, Университет Правительства Москвы,
Россия, Москва, Российская академия народного хозяйства и
государственной службы при Президенте Российской Федерации,
adan51@yandex.ru

Аннотация. Предложена фасетная классификация методов представления систем по двум основаниям гносеологического характера. По содержанию системного представления выделяются структурные, параметрические и структурно-параметрические представления. По видам языков описания выделяются графические, вербальные и формализованные описания. Рассмотрены классы методов представления систем как варианты комбинирования значений по каждому из двух оснований. Приведены основные примеры и особенности представлений каждого класса. Предложены направления расширения классификации.

Ключевые слова: фасетная классификация, структурное представление системы, параметрическое представление системы, структурно-параметрическое представление системы, графическое описание системы, вербальное описание системы, формализованное описание системы.

Alexander N. Danchul,
Professor, Doctor of Technical Sciences

ON THE CLASSIFICATION OF METHODS FOR SYSTEM REPRESENTATIONS

Moscow Metropolitan Governance Yury Luzhkov University, Moscow, Russia,
Presidential Academy, Moscow, Russia,
adan51@yandex.ru

Abstract. A faceted classification of methods for system representation is proposed on two grounds of an epistemological nature. According to the content of the system representation, structural, parametric and structural-parametric representations are distinguished. According to the types of description languages, graphic, verbal and formalized descriptions are distinguished. Classes of methods for system representation are considered as options for combining values for each of the two bases. The main examples and features of the representations of each class are given. The directions of classification expansion are proposed.

Keywords: faceted classification, structural system representation, parametric system representation, structural-parametric system representation, graphical system description, verbal system description, formalized system description.

Введение

Представление системы – некоторое отражение системы в сознании (мыслительной деятельности) субъекта, фиксируемое в виде ее описания, или не фиксируемое в случае ментального представления. Под описанием системы будем понимать представление системы на выбранном субъектом языке, естественном, но, возможно, с использованием специальной терминологии, графическом или формальном, фиксируемое на определенном материальном носителе (бумага, компьютерный файл и т. п.).

В многочисленных публикациях по теории систем рассматриваются, как правило, классификации методов формализованного представления систем и связанных с ними методов моделирования [1]. Однако, формализованные описания систем не являются единственно возможными. Для их получения и интерпретации необходимо использовать и другие виды представления: вербальные и графические. Более того при описании систем социально-политической сферы вербальные и графические представления используются существенно чаще и плодотворнее формализованных. Отметим также, что при описании достаточно схожих классификаций методов представления систем зачастую не уделяется достаточного внимания явному выделению признаков классификации и вопросам их зависимости при образовании классов.

В статье предлагается вариант классификации, устраняющий вышеперечисленные замечания. Предлагаемые основания классификации отражают ее гносеологический аспект, при котором логика классификации независима или инвариантна предметному содержанию представляемых

систем. В связи с этим, в частности, не рассматривается признак классификации представлений системы по отражаемому в них наборам онтологических свойств системы, который отличается у систем различных классов. Содержание статьи является развитием результатов, изложенных автором в [2]. Близкие к содержанию статьи, но имеющие ряд существенных отличий, подходы к классификации представлений систем изложены в [3].

1. Основания классификации и выделяемые классы

Основание (признак) классификации – свойство, присущее всем объектам классифицируемого множества, являющееся существенным с точки зрения проводимых субъектом исследований.

Класс – совокупность всех объектов исходного множества, обладающих некоторой общностью характеристик признака классификации, выражаемой одним из однородных значений этого признака и позволяющей отличать объекты любого класса от объектов других классов.

Характеристика – степень проявления свойства объекта, фиксируемая субъектом с использованием некоторой шкалы.

Предлагаются в качестве оснований классификации следующие независимые признаки (фасеты) методов представления систем.

Содержание системного представления (какие системные характеристики фиксируются в представлении).

Способ фиксации представления (используемые средства описания).

В фасете 1 выделяется три значения, соответствующие трем видам используемых в представлении характеристик.

Ф1-1. Использование характеристик, фиксирующих лишь наличие или отсутствие в системе и ее компонентах каких-либо объектов системного описания (элементов, свойств, отношений) – структурное представление.

Ф1-2. Использование параметров – характеристик каких-либо объектов, измеряемых в количественных шкалах, и соотношений между этими параметрами – параметрическое представление.

Ф1-3. Дополнение характеристик, позволяющих зафиксировать наличие или отсутствие у системы и ее компонентов каких-либо объектов (элементов, свойств, отношений), количественными характеристиками всех или некоторых из этих объектов – структурно-параметрическое представление.

В фасете 2 выделяется три значения, соответствующие трем видам языков описания.

Ф2-1 графическое описание с использованием ограниченного или неограниченного множества графических стереотипов.

Ф2-2 – вербальное описание на естественном языке.

Ф2-3 – формализованное описание на искусственном языке определенной науки (математики, алгоритмические языки и др.).

Схема построения такой фасетной классификации представлена в табл. 1. Классы определяются элементами прямого произведения множеств значений фасетов. Число классов равно произведению чисел значений каждого фасета. В данном случае имеется 9 классов.

Таблица 1

Схема фасетной классификации

Значения фасетов	Ф2-1	Ф2-2	Ф2-3
Ф1-1	К1-1	К1-2	К1-3
Ф1-2	К2-1	К2-2	К2-3
Ф1-3	К3-1	К3-2	К3-3

2. Структурные представления

Эти представления, соответствующие фасету Ф1-1, являются наиболее распространенными в силу использования в них базовых понятий теории систем и, в то же время, наиболее простыми с точки зрения наполнения их конкретными значениями характеристик.

Базовым для структурного представления является понятие множества, используемое как в естественном языке, так и языке математики. Примерами простейшего структурного представления на его основе – представления о составе системы являются рис. 1 для графического описания, предложение «Данная система $S1$ состоит из элементов Э1, Э2, Э3 и Э4» для вербального описания, описание в виде множества $S1 = \{Э1, Э2, Э3, Э4\}$, где элемент множества Э1 обозначает элемент системы «Элемент1» и т. д. для формализованного описания.

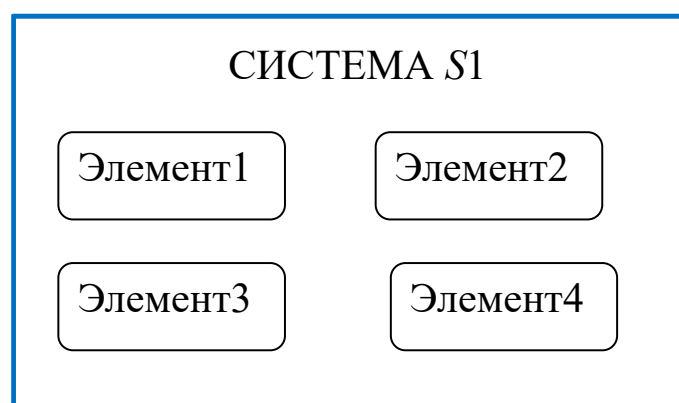


Рис. 1. Графическое представление состава системы

Заметим, что такое графическое представление может быть получено с использованием других графических стереотипов, например, в виде четырех именованных точек на горизонтальном ненаправленном отрезке или на плоскости. Точки могут быть заключены в некоторый овал, соответствующий множеству.

Отметим также, что формальное описание как правило дополняется вербальными комментариями, поэтому включающее его представление корректнее называть формализованным.

Если в представлении важно отразить упорядоченность объектов, как например, в предложении «процесс S состоит из последовательно выполняемых этапов Э1, Э2, Э3, Э4», то в качестве графического представления можно использовать рис. 2 или располагать точки на направленной оси, а не на отрезке. В формализованном представлении надо использовать не множество, а кортеж $S = \langle \text{Э1}, \text{Э2}, \text{Э3}, \text{Э4} \rangle$.

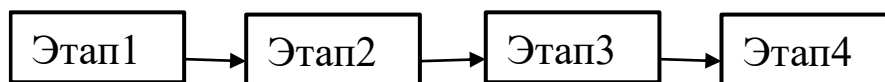


Рис. 2. Графическое представление последовательности этапов S

В ходе исследования структурная формализация обычно усложняется. Так сначала может быть сформировано множество вариантов управленческих решений, а затем они упорядочены в кортеж по степени своей предпочтительности. Аналогично, предварительно сформированное множество факторов, влияющих на протекание некоторого процесса, после проведения факторного анализа может быть упорядочено по значимости факторов.

Следующий шаг на пути к более сложной структурной формализации описывается *прямым* или *декартовым произведением* $D = A \times B$ двух множеств. Множество D состоит из всех таких пар (кортежей из двух компонент), первая компонента которых принадлежит множеству A , а вторая – множеству B .

Например, пусть $A = \{a, b, c\}$, $B = \{f, d\}$. Тогда

$$D = A \times B = \{ \langle a, f \rangle, \langle a, d \rangle, \langle b, f \rangle, \langle b, d \rangle, \langle c, f \rangle, \langle c, d \rangle \}.$$

То есть прямое произведение двух множеств содержит все возможные упорядоченные парные комбинации элементов, взятых по одному из каждого из множеств A и B . Если в A имеется m элементов, а в B – n элементов, то в прямом произведении этих множеств D будет $m \cdot n$ элементов (пар).

Примером вербального описания, которое можно формализовать с помощью прямого произведения множеств, может служить предложение «исследовать, обладает ли каждый из объектов – элементов множества A тем или иным свойством, все множество которых составляет B ». Отметим также, что множество D образуют все классы фасетной классификации, полученные при использовании двух фасетов, множествами значений каждого из которых являются множество A и множество B .

В формализованном описании как элементы множеств A и B , так и пары из множества D могут быть дополнены вербальными комментариями.

Другим распространенным способом формализованного описания такой структуры являются таблицы, подобные табл. 1. Подобные структуры данных получили название табличных и являются основой представления информации в табличных процессорах, например, Excel.

Рассматриваемая структура может быть графически отображена: а – прямоугольниками (в виде так называемого морфологического ящика) или б – точками на плоскости (в виде координатной диаграммы), как показано на рис. 3.

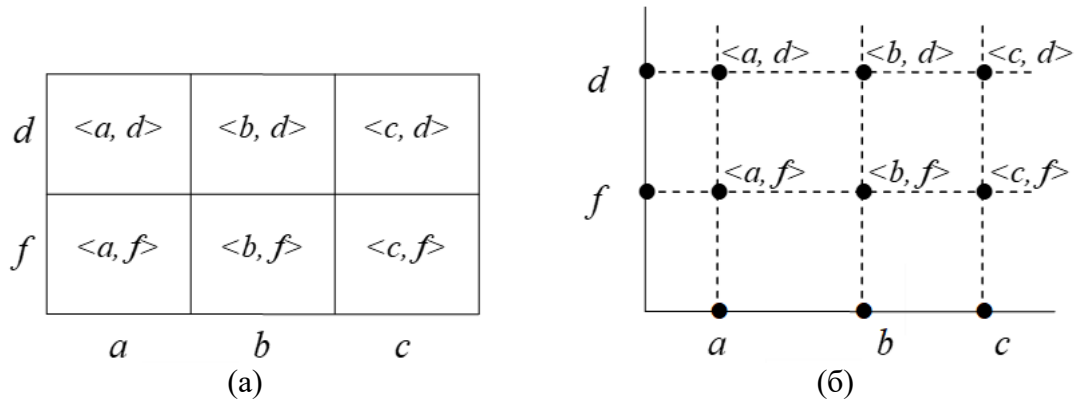


Рис. 3. Варианты графического изображения прямого произведения

Прямое произведение $D = M \times M$ множества M на себя, можно считать основой для формализованного описания наличия *всех возможных связей (отношений)* между любыми парами элементов системы, входящих в множество M . Используя его можно перейти к структурной формализации любых *существующих связей* между двумя объектами, являющимися элементами некоторой системы и описать *структуру системы*. В этих целях используется математическая структура, называемая *бинарным отношением* на множестве M :

$$\rho = \langle M, R \rangle,$$

где $R \subseteq M \times M$. В множество R входят только те пары $\langle a_i, a_j \rangle$ элементов множества $M = \{ a_1, a_2, \dots, a_n \}$, для которых имеется связь от элемента a_i к элементу a_j .

Бинарное отношение может быть графически отображено: а) в виде ориентированного графа (орграфа) или б) координатной диаграммы (точками на плоскости), как показано на рис. 4 для случая, когда

$$M = \{ a, b, c, d \},$$

$$R = \{ \langle a, a \rangle, \langle a, c \rangle, \langle b, a \rangle, \langle c, a \rangle, \langle c, c \rangle, \langle d, b \rangle \}.$$

Обычно дуги на ориентированном графе и точки на координатной диаграмме не помечают короткими, которым они соответствуют.

В вербальном описании такого структурного представления может быть проще выделить не бинарное отношение, а соответствующий ему двухместный предикат $P(x, y)$ с полем M по каждой переменной. С обсуждением связанных с этим вопросы можно ознакомиться в [4].

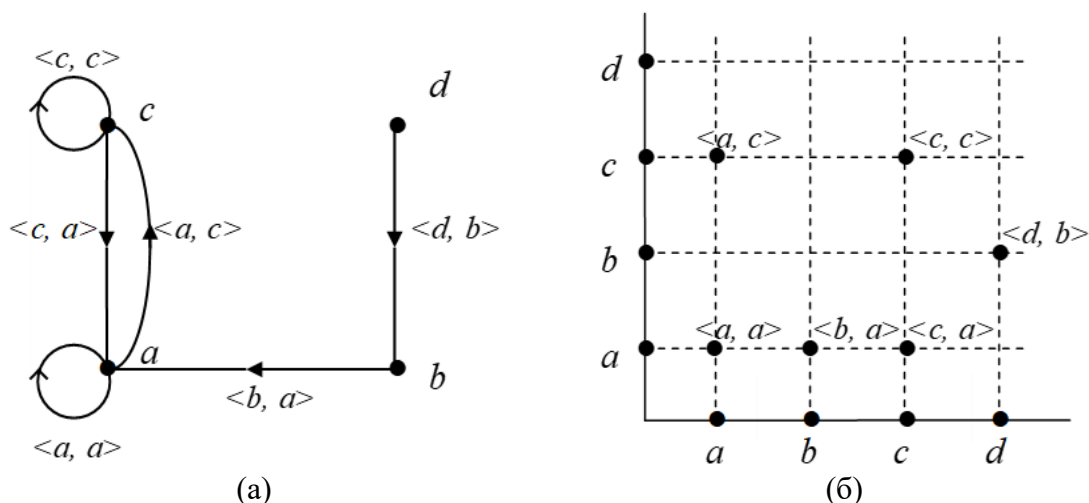


Рис. 4. Варианты графического изображения бинарного отношения, где а – ориентированный граф, б – координатная диаграмма

Табличная форма представления может рассматриваться и в качестве графического описания, например, морфологический ящик на рис. 3а, и в качестве формального описания в виде матрицы с числовыми элементами. В табличной форме для представления в памяти программ на ЭВМ ориентированный граф описывается с помощью матрицы смежности вершин или с помощью матрицы инцидентности вершин и дуг (для графа на рис. 4 см. табл. 2).

Таблица 2

Матрицы смежности и инцидентности ориентированного графа

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	$\langle a, a \rangle$	$\langle a, c \rangle$	$\langle b, a \rangle$	$\langle c, a \rangle$	$\langle c, c \rangle$	$\langle d, b \rangle$
<i>a</i>	1	0	1	0	2	-1	1	1	0	0
<i>b</i>	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	1
<i>c</i>	1	0	1	0	0	1	0	-1	2	0
<i>d</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1

Бинарное отношение ρ и соответствующий ему ориентированный граф могут быть использованы для формализации любых отношений (связей) между объектами: причинно-следственных, ресурсообменных, доминирования и т. д. Если необходимо различать эти связи, то при формализации надо задать на одном и том же множестве объектов несколько бинарных отношений. Графически их можно изобразить с помощью мультиграфа, в котором из одной вершины в другую может вести несколько дуг различного вида, соответствующих разным отношениям.

Если отношения между объектами симметричны, то каждая дуга ориентированного графа должна иметь встречную. В этом случае для упрощения графического изображения можно использовать неориентированный граф, ребра которого не имеют направления.

Некоторые изображения ранее введенных структур можно рассматривать как частные случаи ориентированных графов (рис. 5).

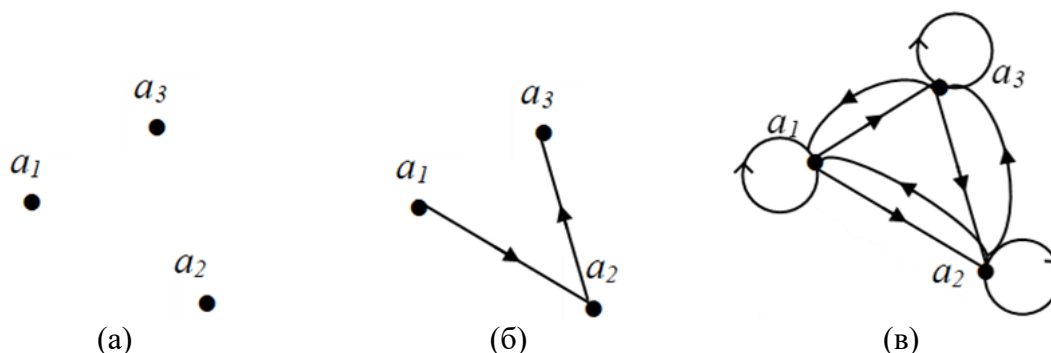


Рис. 5. Частные случаи ориентированных графов, где а – несвязный граф (множество $M = \{a_1, a_2, a_3\}$), б – граф обхода вершин (кортеж $S = \langle a_1, a_2, a_3 \rangle$), в – полносвязный граф (прямое произведение $D = M \times M$)

Если между элементами системы, состав которой изображен на рис. 1, определены связи, то в качестве примера графического представления ее структуры можно привести рис. 6.

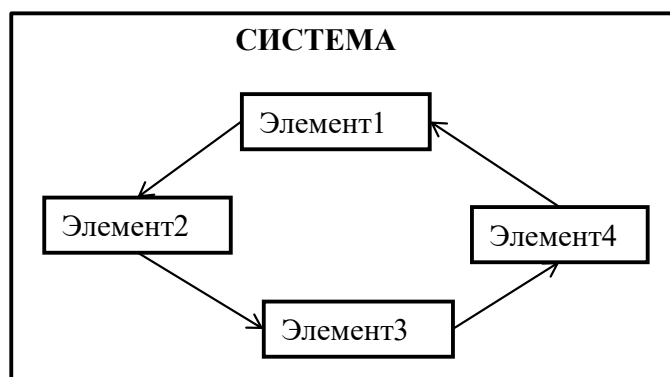


Рис. 6. Пример графического представления структуры системы

Графические представления бинарных отношений, которые обычно называют структурными моделями широко распространены в различных областях науки и техники. При этом элементы таких представлений (блоки и соединяющие их стрелки) могут быть именованными и представляться различными графическими стереотипами. Примерами являются принципиальные электрические схемы, модели деловых процессов, в частности, дерево функций. Заметим, что для проектирования информационных систем широко используются в настоящее время программные средства для построения комплекса таких моделей разного вида и назначения на основе формализованных графических языков, например, UML (Unified Modeling Language) – языка графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения, для моделирования бизнес-процессов, системного проектирования и отображения организационных структур [5].

3. Параметрические представления

Параметрические представления ввиду отсутствия в них в явном виде элементов структурных представлений не имеют специфического для

систем содержания. Чаще всего они используются в виде формального описания на языке математики зависимостей одних измеряемых в количественной шкале характеристик (параметров) системы и ее элементов от других. Сами зависимости могут иметь вид явных или неявных функций одной или нескольких переменных, алгебраических, дифференциальных или разностных (рекуррентных) уравнений, а также представлены вычислительными алгоритмами, в том числе, имитационного моделирования.

Большинство приведенных в литературе классификаций методов формализованного представления систем относятся к параметрической формализации. Приведем три из них:

1) по типу используемых переменных, который определяется отражаемым в модели характером причинно-следственных связей, выделяют три типа моделей: детерминированные, стохастические (вероятностные), и нечеткие;

2) по множеству допустимых значений переменных: непрерывные, дискретные и дискретно-непрерывные;

3) по механизму реализации: аналитические, имитационные и комбинированные.

Ввиду сложности получения и интерпретации таких формальных представлений возможности вербального представления обычно ограничены математической терминологией, содержательной постановкой задач и качественным анализом результатов.

Наиболее часто используемыми графическими стереотипами для параметрических представлений являются различные виды графиков и диаграмм. Поскольку вычислительная реализация параметрических представлений осуществляется обычно с помощью ЭВМ, используются стереотипы, предоставляемые соответствующими программными средствами.

Необходимо отметить, что во многих учебниках и учебных пособиях по теории систем и системному анализу, при рассмотрении математических моделей основное внимание уделяется параметрическим представлениям, а не более характерным для систем структурным и рассматриваемым ниже структурно-параметрическим представлениям. Одним из характерных примеров является учебник [6].

4. Структурно-параметрические представления

В таких представлениях структурное описание дополняется элементами параметрического описания, позволяющими задать не только наличие или отсутствие у системы и ее компонентов каких-либо свойств и связей, но и их количественные характеристики.

Элементы всех рассмотренных в п. 2 формальных структур можно считать измеряемыми в шкалах наименований или порядковых, поскольку структурная формализация не предусматривает никаких операций над

количественными величинами. В то же время этим элементам могут быть поставлены в соответствие и числовые параметры, над которыми при последующей параметрической формализации могут задаваться вычислительные операции.

Пусть каждый элемент параметризованного множества P обладает некоторой числовой характеристикой – параметром. Соответствие между элементами и их характеристиками можно задать с помощью однозначного всюду определенного отображения $\varphi = \langle P, C, F \rangle$, где $F \subseteq P \times C$, множества P в количественную шкалу – числовое множество C возможных значений параметров. В качестве C может рассматриваться множество всех действительных чисел $\mathbf{R}$.

Можно указать несколько способов описания такого отображения. При небольшом количестве элементов в P наиболее распространенной формой описания является табличная. Например, это таблица в рис. 7

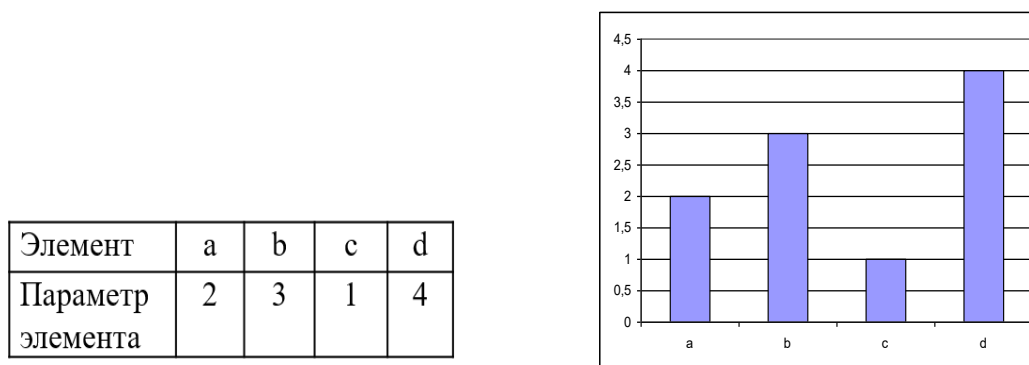


Рис. 7. Примеры табличного и графического представления параметризованного множества

Параметризованное множество можно отобразить графически в виде двудольного ориентированного графа, координатной диаграммы, а также столбчатой диаграммы (см. рис. 7), что удобно делать средствами Excel.

Ориентированный граф, вершинам или дугам которого сопоставляются некоторые параметры, называется нагруженным. Формально его можно также записать в виде отображения $\varphi = \langle P, C, F \rangle$, причем множество P может равно: 1) множеству вершин M , 2) множеству дуг R , 3) их объединению $P = M \cup R$, что чаще всего.

Пример графического описания бинарного отношения, представленного ориентированным графом из рис. 4, но нагруженным параметрами дуг, которые часто называются весами или длинами, и соответствующей ему таблицы (матрицы) весов дуг приведены на рис. 8.

Нагруженный граф, дополненный вербальными описаниями, представляет собой основу для дальнейшего расчета параметров системы с учетом ее структуры и содержательного смысла параметров и их соотношений (зависимостей). В этот класс представления систем входит большое число как детерминированных, так и стохастических моделей,

описываемых системами линейных алгебраических, дифференциальных и рекуррентных уравнений: потоковые и импульсные (когнитивные) модели, сетевые графики, марковские цепи и др.

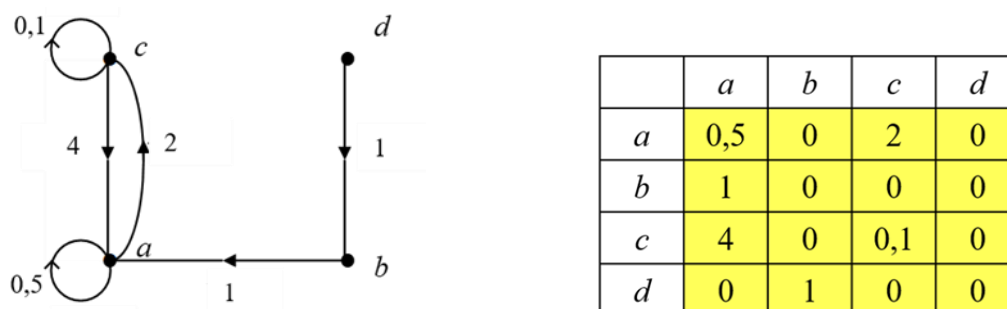


Рис. 8. Примеры графического и табличного представления параметризованного отношения

Заключение

В работе предложена «минимальная» фасетная классификация представления систем по двум основаниям гносеологического характера: по содержанию системного представления и по видам языков описания. Отсутствие в классификации оснований онтологического характера обеспечивает ее применимость к системам любой природы и в различных предметных областях. Развитие этой классификации путем добавления оснований онтологического характера (например, по аспектам (группам свойств) системы) приведет к нарушению независимости оснований и переходу от фасетной классификации к фасетно-иерархической. Добавление других оснований гносеологического характера (например, выделение внешних и внутренних представлений системы) не приведет к значимому расширению сущности методов представления систем.

Принятие предложенной классификации как основной влечет за собой необходимость решения задачи построения расширенной фасетно-иерархической классификации с явным учетом в ней существенных особенностей систем различной природы.

Предложенная классификация, а также ее возможные расширения, ставят вопрос о пересмотре структуры и содержания учебных пособий по теории и моделированию систем в направлении увеличения объема материала, посвященного структурным и структурно-параметрическим представлениям за счет параметрических с рассмотрением не только формальных (формализованных) их описаний, но также вербальных и графических.

Список литературы

1. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник / Под ред. В. Н. Волковой, А. А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 848 с.
2. Исследование социально-экономических и политических процессов: учебник / Под общ. ред. А. Н. Данчула. – М.: Изд-во РАГС, 2010. – 472 с.
3. Микони С. В., Ходаковский В. А. Основы системного анализа: учеб. пособие. – СПб.: СГУПС, 2011. – 142 с.

4. Микони С. В. Язык как модель системы // Сборник научных трудов XXVII Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении» (SAEC-2023), 13–14 октября 2023 г. В 2 ч. Ч. 1 / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – С. 144–151.
5. Фаулер М. UML. Основы. – 3-е изд. – СПб: Символ-Плюс, 2004. – 192 с.
6. Антонов А. В. Системный анализ: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2008. – 454 с.