

## ФОРМАЛИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ТРЕБОВАНИЙ К РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА

Е.А. Дружинин, О.К. Габчак

(Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт»)

*Статья посвящена построению модели структурного синтеза требований к проекту. Проведен анализ требований и характеристик, применяемых для описания целей и продукции проекта. Изучены возможности применения морфологического подхода к формированию множества вариантов, через построение системы требований предъявляемых к продукции проекта, рассмотрение взаимосвязи заданных требований и их контроль.*

*модель структурного синтеза требований к проекту, морфологический подход, построение системы требований*

**Введение.** Проект, согласно РМВООК, начинается с планирования предметной области. Результатами планирования являются: продукт проекта, результаты проекта, цели проекта. Описание продукта документирует его характеристики, которые санкционированы требованиями.

Требование – сформулированная потребность или ожидание, общепонятное или обязательное. "Общепонятное" означает, что оно является обычной или общепринятой практикой для организации, ее заказчиков и других заинтересованных сторон. Установленное требование – это требование, сформулированное, например, в документе.

В процессе выполнения работ проекта требования преобразуются в характеристики. Характеристика – отличительное свойство. Характеристика может быть собственной или присвоенной, качественной или количественной. Существуют разные классы характеристик: физические, органолептические, этические, временные, эргономичные, функциональные. Характеристики выполняют функции, которые можно группировать по нескольким основаниям. По области проявления функции подразделяются на:

- внешние – выполняемые объектом при его взаимодействии с внешней средой;
- внутренние – выполняют элементы объекта и их связи в границах объекта.

По роли в удовлетворении требований среди внешних функций различают: главную (отражает главную цель создания объекта); второстепенную (побочную).

По роли в рабочем процессе внутренние функции подразделяют на: основную (обуславливает работоспособность объекта); вспомогательные (с их помощью реализуются главные, второстепенные и основные функции).

По характеру появления функции делятся на: номинальные – задаются при формировании, создании объекта и обязательны для выполнения; потенциальные отражают возможность выполнения объектом каких-либо функций при изменении условий его эксплуатации; действительные – это фактически выполняемые объектом функции.

Все функции объекта могут быть полезными, и бесполезными, а последние нейтральными и вредными. Взаимосвязь функций показана на рис. 1.



Рис. 1. Взаимосвязь выполняемых объектом функций

Сложность задачи планирования предметной области при создании сложной технической системы заключается в необходимости выбора оптимальных проектных решений в многообразии возможных вариантов структур и их состава при неопределенности условий функционирования системы.

**Постановка задачи исследования.** В задачах формального описания приемлемых вариантов сложных технических систем возникает ситуация, в которой, прежде чем описать множество альтернатив (как детерминированное, так и случайное), необходимо объяснить, как устроены его элементы. Эта задача, получила название задача формирования. Множество альтернатив при этом будет соответствовать совокупности вариантов системы, наделенных требуемыми структурными свойствами.

Вариант системы обладает структурой, т.е. состоит из некоторого числа структурных единиц, которые в дальнейшем будем называть элементами. Формирование варианта системы означает как перечисление входящих в него элементов, так и распределение между ними характеристик, выполняющих системные функции.

В широко распространенном случае, когда любой вариант системы состоит из конечного числа элементов, а распределение системных функций между ними может быть осуществлено конечным числом способов, можно сперва сформировать "расширенное" множество альтернатив, включив в него все мыслимые варианты, затем удалить из него варианты, не обеспечивающие выполнение системных функций. После чего следует решать задачу выбора единственной альтернативы из множества допустимых. Задача формирования и задача выбора при этом разделяются. Однако попытка разделить эти задачи приводит к вычислительным трудностям и необходимости рассматривать задачу формирования и выбора как единое целое.

Отсутствие теоретических методов, обосновывающих поиск наилучшей альтернативы и наличие на практике результатов успешного решения проектных комбинаторных задач с помощью эвристических приемов означает, что основным назначением экспертной системы планирования предметной области должна быть помощь инженеру в классификации структурных признаков, а также сбора и накопления информации о различных сочетаниях элементов проектируемого объекта.

Наиболее часто используемая модель задачи формирования требований получается при использовании метода морфологического анализа. Для того чтобы обеспечить направленность процесса формирования вариантов, вводится понятие метризованного морфологического пространства. Наличие метрики позволяет построить определенную систему окрестностей для так называемых "базовых точек" морфологического пространства; варианты системы формируются таким образом, чтобы они принадлежали данным окрестностям.

**Применение теории морфологического анализа для выбора и описания продукта проекта.** Морфологический подход позволяет выявить, систематизировать и изучить все возможные способы построения системы, предназначенной для реализации заданных функций. Он позволяет систематически выявить всю совокупность возможных вариантов, проанализировать последствия принимаемых решений и учесть наличие нескольких целей, для достижения которых предназначается проектируемая система.

Метод морфологического анализа состоит из реализации следующих этапов:

1. Формулировка решаемой задачи (описание желаемых функциональных свойств исследуемой системы заказчиком).
  2. Выявление максимально полного перечня основных функций системы (на этом шаге анализируются требования внешних контролирующих органов, возможности предприятий изготовителей).
  3. Определение различных альтернативных способов реализации каждой из выявленных ранее функций и генерирование всех возможных вариантов рассматриваемой системы, каждый из которых состоит из цепочки, содержащей ровно по одному способу реализации каждой отдельной функции.
  4. Определение эффективности вариантов системы.
  5. Выбор и реализация наиболее предпочтительного варианта.
- После осуществления 3-го этапа метода получается морфологическая таблица (табл. 1). В этой таблице цепочкой связанных способов показывают один из вариантов рассматриваемой системы. Число всех возможных вариантов  $N$  определяется:

$$N = \prod_{l=1}^L k_l, \quad (1)$$

где  $k_l$  – число возможных способов реализации  $l$ -й функции;  $L$  – число всех функций системы.

Таблица 1

Морфологическая таблица

Функции системы	Возможные способы реализации отдельных функций	Число способов
$\sigma(1)$	$\lambda_{11} \quad \lambda_{12} \quad \lambda_{13} \quad \dots \quad \lambda_{1k_1}$	$k_1$
$\sigma(2)$	$\lambda_{21} \quad \lambda_{22} \quad \lambda_{23} \quad \dots \quad \lambda_{2k_2}$	$k_2$
...	...	...
$\sigma(l)$	$\lambda_{l1} \quad \lambda_{l2} \quad \lambda_{l3} \quad \lambda_{l4} \quad \dots \quad \lambda_{lk_l}$	$k_l$
...	...	...
$\sigma(L)$	$\lambda_{L1} \quad \lambda_{L2} \quad \lambda_{L3} \quad \dots \quad \lambda_{Lk_L}$	$k_L$

Проблема размерности, возникающая в процессе формирования вариантов исследуемой системы с использованием метода морфологического анализа, порождается наличием следующего противоречия.

С одной стороны, приступая к изучению системы, желательно с максимальной полнотой исследовать все возможности ее построения, чтобы

не упустить из виду ни одной потенциально лучшей. С другой стороны, возможности детального изучения и сопоставительного анализа всех различных вариантов ограничены как временными рамками, так и средствами, выделенными на проектирование и испытание вариантов. Поэтому здесь особое значение приобретает исследование возможной локализации областей исследуемых вариантов системы; эти области должны включать в себя варианты, предпочтительные в заранее определенном смысле, причем их число должно находиться в разумных пределах.

Один из способов, позволяющих осуществить такую локализацию, был предложен Р. Эйресом [3]. Он состоит во введении понятия "расстояние" для морфологических вариантов. Эйрес обратил внимание на то, что совокупность всех возможных вариантов рассматриваемой системы, представленных в морфологической таблице, можно разделить на три группы: известные, ранее исследованные варианты; неизвестные варианты; варианты, в которых наряду с элементами из известных вариантов имеются и новые.

Развитие любой научно-технической области идет по пути варьирования характеристик уже известных технических решений, поэтому вероятность появления нового, более эффективного варианта системы зависит от того, какую часть известные варианты составляют от их общего числа. Для оценки этой вероятности необходимо научиться рассчитывать число таких вариантов, которые отличаются от уже известных заданным числом элементов.

Чтобы определить расстояние между вариантами, имеющимися в морфологической таблице, используют следующие понятия.

Морфологическое пространство – множество дискретных точек, каждая из которых есть определенная комбинация способов реализации функций системы. Морфологическое расстояние – число функций, по которым два варианта имеют несовпадающие элементы. Морфологическая окрестность – подмножество морфологически близких вариантов. Поверхность морфоокрестности – множество всех вариантов, отличающихся от точек окрестности самое большое одним элементом. Число таких вариантов называется площадью поверхности. Введем понятия и формальные определения, необходимые для исследования пространства морфологических вариантов системы.

Пусть заданы:

– конечное множество  $E$ , элементы которого будем называть элементами системы;

– разбиение  $\sigma: \{1, \dots, L\}$  множества элементов на морфологические классы.

Здесь  $\sigma(l) \subseteq E$  – совокупность элементов системы, принадлежащих морфологическому классу  $l$ ,  $L$  – общее число классов.

Морфологическим пространством  $\Lambda$  называется такое множество, что для всех  $x \in \Lambda$  и для любого индекса  $l \in \{1, \dots, L\}$  множество  $x \cap \sigma(l)$  одноэлементное.

Из этого определения следует, что  $x$  содержится в  $\Lambda$ , т.е. является вариантом морфологической системы, тогда и только тогда, когда  $x$  есть множество представителей классов  $\sigma(l)$ ,  $l = 1, \dots, L$ ;  $x = \{x_1, \dots, x_L\}$ , где  $x_l \in \sigma(l)$ .

Пусть  $x = (x_1, \dots, x_L)$  – морфологический вариант,  $x \in \Lambda$ ,  $\rho(x, y)$  – расстояние между вариантами  $x$  и  $y$ . Определим значение минимально возможного расстояния в морфологическом пространстве:

$$(L = 1) \Rightarrow \forall x, y \in \Lambda : \rho(x, y) = 1, \quad (2)$$

Единственное расстояние  $\rho$  дается соотношением:

$$\rho(\bar{x}, \bar{y}) = \sum_{l=1}^L (1 - \delta_{x_l, y_l}), \quad (3)$$

где  $\delta_{x_l, y_l}$  – символ Кронекера:

$$\delta_{x_l, y_l} = \begin{cases} 1, & \text{если } x_l = y_l; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Перейдем к анализу окрестностей некоторых выделенных точек пространства.

Сферической окрестностью  $u_{\rho, L}(x)$  радиуса  $\rho$  с центром в точке  $x$ ,  $x \in \Lambda$ , называется подмножество точек метризованного пространства  $\Lambda$ , отстоящих от точки  $x$  на расстоянии  $\rho$ :

$$u_{\rho, L}(x) = \{y : \rho(x, y) = \rho; x, y \in \Lambda\}. \quad (4)$$

Шаровой окрестностью  $w_{\rho, L}(x)$  радиуса  $r$  с центром в точке  $x$ ,  $x \in \Lambda$ , называется подмножество точек метризованного морфологического пространства  $\Lambda$ , отстоящих от точки  $x$  на расстоянии, не большем  $r$ :

$$w_{\rho, L}(x) = \{y : \rho(x, y) \leq r; x, y \in \Lambda\}. \quad (5)$$

В ряде задач морфологического анализа исключаются из рассмотрения некоторые заведомо нереализуемые варианты. Причиной такого исключения будут запрещения на совместимость элементов различных классов. В морфологическом пространстве таким вариантам будут соответствовать запрещенные точки, которые следует исключить из числа точек рассматриваемой окрестности. При задании множества запрещенных вариантов используется матрицы бинарных отношений. Рассмотрим

пример, иллюстрирующий этот подход. Будем предполагать, что морфологический вариант  $x$  допустим тогда, когда все входящие в него элементы попарно совместимы. Пусть задано морфологическое пространство

$\Lambda = \prod_{l=1}^L \sigma(l) = \{(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_L)\}$ ,  $\lambda_l \in \Lambda_l = \{1, \dots, k_l\}$ . Каждой паре координат  $i$  и  $k$  вектора  $x \in \Lambda$  ставится в соответствие индикатор совместимости элементов  $\lambda_i$  и  $\lambda_k$ :

$$b(\lambda_i, \lambda_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } \lambda_i \text{ и } \lambda_k \text{ совместимы;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Для варианта  $x$ , все элементы которого попарно совместимы,  $N(x) = \prod_{k, i \geq k} b(\lambda_i, \lambda_k) = 1$ . Таким образом, число  $N$  всех допустимых вариантов:

антов:

$$N = \sum_{x \in \Lambda} N(x). \quad (6)$$

Особый интерес представляет задача формирования варианта, вмещающего в себя свойства нескольких базовых точек. Число таких вариантов совпадает с числом точек морфологического пространства, содержащихся в пересечении нескольких шаровых окрестностей произвольного радиуса.

Таким образом, множество оптимальных вариантов или некоторое его подмножество формируется в окрестности некоторого базового варианта. Если таких вариантов несколько, то рассматривается пересечение их окрестностей.

В любой морфологической таблице, построенной при решении прикладной задачи анализа системы, содержатся все ранее реализованные варианты, относительно которых известны их достоинства и недостатки, а также затраты, связанные с их анализом и реализацией. Поэтому, если задача формирования вариантов системы решается при наличии ограниченных ресурсов, а относительно возможностей реализации вариантов, сильно отличающихся от известных, имеется исходная неопределенность, то имеет смысл ограничиться первоочередным анализом таких новых вариантов, которые наиболее близки к совокупности известных. Иными словами, встает задача определения вариантов, наиболее близких ко множеству базовых (ранее реализованных) вариантов. При этом предполагается, что реализовать такие промежуточные варианты будет проще, поскольку в значительной степени можно будет использовать опыт, полученный при разработке и применении базовых вариантов.

Медианой множества точек  $Y$  метризованного морфологического пространства  $\Lambda$  называется любая точка  $x \in \Lambda$ , суммарное расстояние от которой до всех точек множества  $Y$  минимально. Можно решать и обратную задачу, связанную с выделением точек, максимально удаленных от базовых вариантов. Эта задача может возникнуть, например, если базовые варианты обладают крайне нежелательными свойствами, или же при проектировании новых технических систем, когда необходимо найти решение, радикально отличающееся от уже известных. Для разработчиков проектов, приступающих каждый раз к новой задаче комплектации состава и структуры, алгоритмы структурного синтеза должны быть инструментом не только поиска лучших вариантов, но также изучения всего множества структурного многообразия разрабатываемых систем.

**Заключение.** Рассмотренный метод структурного синтеза позволит повысить эффективность перебора вариантов лучших и худших решений и оценки перспективности отдельных путей трансформации структуры.

Данный метод является основой экспертной системы сравнения проектных решений, коррекции хода поиска и формирования допустимой предметной области возможных решений с помощью лиц, принимающих решения. При этом следует учитывать ряд требований к алгоритмам поиска задач структурного синтеза: универсальность и гибкость поискового алгоритма по отношению к свойствам оптимизируемой системы; следует предусмотреть процедуру оценки предельных значений критериев; необходимо отслеживать закономерности изменения критериев в ходе поиска проектных решений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. – USA: PMI Standards Committee. – 2000 ed. – 216 p.
2. Одрин В.С. *Метод морфологического анализа больших технических систем*. – М.: ВНИИПИ, 1988. – 206 с.
3. *Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем / Под ред. Дубова*. – М.: Наука, 1986. – 294 с.
4. Осин М.И. *Методы автоматизированного проектирования летательных аппаратов*. – М.: Машиностроение, 1984. – 168 с.

Поступила 10.10.2005

**Рецензент:** доктор технических наук, профессор В.М. Илюшко,  
Национальный аэрокосмический университет



