

ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗАЙНОМ

Рассматриваются вопросы и методология управления процессом проектирования дизайна на базе морфологического метода. Оцениваются достоинства и приводятся основные задачи и этапы морфологической экспертизы дизайна.

Ключевые слова: дизайн, управление дизайном, экспертиза дизайна.

Эффективность внедрения экспертных систем в практику определяется прежде всего высоким качеством решения как задач собственно экспертизы качества дизайна отдельных объектов, так и задач управления процессом дизайна.

Экспертные компьютерные системы в настоящее время находят широкое применение и в гуманитарных, и в естественно-научных областях. Номенклатура экспертных систем (ЭС) по различным направлениям достигает десятков и сотен, а число модификаций ЭС составляет многие тысячи и непрерывно увеличивается [1]. Весьма перспективным в этом отношении является новый класс эксклюзивных экспертных систем на основе морфологического метода [3], [4], которые предназначены для проведения экспертизы, оптимизации структуры и принятия решений в сложных, многокритериальных областях при отсутствии формального описания объекта экспертизы. Использование таких систем в области управления дизайном [2] весьма эффективно и позволяет решать следующие задачи:

1) осуществлять многокритериальную оценку качества дизайна заданной группы объектов по совокупности функциональных критериев;

2) проводить расчет групповых рейтингов или общего рейтинга структурированного множества объектов дизайна по различным основаниям;

3) осуществлять экспертизу структуры проектирования дизайна объекта;

4) осуществлять сравнительную экспертизу нескольких структур проектирования дизайна объекта;

5) проводить оптимизацию процесса проектирования дизайна объекта по совокупности заданных экспертных критериев.

Принципиальными достоинствами морфологических систем управления дизайном являются:

1) возможность проведения многокритериальной экспертизы, экспертизы и оптимизации структуры объекта (например, процесса проектирования дизайна) по совокупному качеству, то есть с учетом совокупности заданных требований. Известные классы экспертных систем этого делать не позволяют;

2) использование простой и наглядной формы представления внутренней структуры объекта дизайна в виде двумерной таблицы (морфологической матрицы). Это облегчает освоение и использование экспертной системы в практическом применении;

3) минимальная субъективность экспертизы и оптимизации дизайна, определяемая только субъективностью экспертных оценок. На всех остальных этапах морфологического метода используются строгие формализованные процедуры;

4) результатом как морфологической экспертизы дизайна, так и синтеза оптимальной структуры процесса дизайна является, в отличие от других известных методов экспертизы, конкретная **численная оценка**, пропорциональная совокупному качеству объекта по выбранным экспертным критериям и формируемая из частных экспертных оценок;

5) относительно недорогая компьютерная реализация морфологических систем управления дизайном за счет отсутствия базы знаний и эвристик, свойственных экспертным системам, основанным на знаниях [1].

Вопросам эффективного применения морфологических систем в области дизайна и посвящена данная статья.

Описание объекта экспертизы дизайна

В основе морфологического метода лежит структурно-функциональный подход, являющийся реализацией системного подхода, излагаемого в теории познания [3], [5]. При структурно-функциональном описании выделяются функции объекта экспертизы (ОЭ), нужные для удовлетворения определенных потребностей, и структура объекта (например, процесса проектирования дизайна), реализующая эти функции (рис. 1).

Таким образом, функциональную, внешнюю сторону ОЭ характеризуют функциональные (экспертные) критерии k_i ($i=1...m$) (эстетические, инженерные, социальные, эргономические и др.), совокупность которых образует вектор (множество) экспертных критериев $K(k1, k2... km)$. Необходимо отметить, что в современных задачах управления дизайном число функциональных критериев оценки качества может достигать нескольких десятков. Это определяет весьма жесткие требования к методологии принятия решений, оптимизации ОЭ по данным критериям.

Внутреннее состояние ОЭ характеризуется его структурой S , которая показывает из каких элементарных частей, функциональных элементов (ФЭ) состоит объект и как эти части связаны между собой:

$$S \{ Nэ, Vij \}, i=1, Nэ j=1, Nэ,$$

где $Nэ$ – число функциональных элементов, а Vij – их взаимосвязи между собой.

Понятие ФЭ определяется уровнем детализации объекта дизайна либо процесса проектирования дизайна. В каждом конкретном случае у проектировщика, эксперта могут быть различные представления о функциональных элементах. Как общее количество ФЭ, так и их взаимосвязи могут быть самыми разными, в зависимости от особенностей реальной задачи. Таким образом, выявление внутренней структуры, то есть структурная декомпозиция объекта дизайна является весьма ответственным моментом, во многом определяющим конечный результат экспертизы оптимизации. Обычно эту процедуру осу-



Рисунок 1. Структурно-функциональное описание объекта дизайна

ществляют на основании функционального либо функционально-стоимостного анализа объекта дизайна, используя широко известные методологии его проведения [3], [5].

В соответствии с приведенным выше структурно-функциональным описанием объекта дизайна могут быть продекларированы две основные задачи, возникающие при его исследовании.

Первой задачей является определение функциональных показателей качества дизайна для заданного объекта дизайна либо структуры процесса дизайна, что условно можно записать так:

$$S \longrightarrow K.$$

Данная задача является задачей собственно экспертизы, анализа текущего состояния дизайна объекта, процесса его проектирования. Безусловно, такая задача важна, так как любые преобразования ОЭ возможны только на основе полного понимания, тщательного анализа исходного его состояния.

Второй, или обратной по отношению к экспертизе, задачей является задача оптимизации, синтеза оптимальной S_0 структуры объекта либо процесса проектирования дизайна по требуемым функциональным показателям K_T , что условно можно записать так:

$$K_T \longrightarrow S_0.$$

Вторая задача является, безусловно, более важной, более значимой, так как именно она и позволяет целенаправленно модифицировать, динамично изменять дизайн объекта в сторону повышения качества его функционирования.

Обе указанные выше задачи могут эффективно решаться на основе морфологического метода, позволяющего как тщательно проанализировать исходное состояние качества дизайна объекта, выявить его принципиальные особенности, так и осуществить его многокритериальную оптимизацию по совокупным функциональным требованиям. В настоящее время стандартный морфологический метод [3]–[6] является ведущим базовым методом принятия решений, структурной оптимизации объектов любой природы при отсутствии формализации задачи. Сущность морфологического метода состоит в формировании так называемой морфологической таблицы, однозначно характеризующей внутреннюю структуру объекта дизайна либо процесса проектирования дизайна, с последующей специфической обработкой дан-

ных морфологической таблицы на основании формальных процедур или алгоритмов. Компьютерная реализация морфологического метода [3], [4] осуществляется в виде специализированных электронных таблиц со специфической для метода обработкой данных, вносимых в таблицы.

Рассмотрим основные этапы морфологической экспертизы и оптимизации дизайна в привязке к компьютерной экспертной системе MORFEX, реализующей данный подход [3].

Морфологическая экспертиза

В режиме морфологической экспертизы предоставляется возможность получить количественную оценку дизайна объектов, заданной структуры процесса дизайна. Если структур несколько, то по их оценке можно проводить сравнительный анализ качества данных структур. При проведении анализа можно изменять число экспертных критериев, их значимость, корректировать экспертные оценки. Результаты анализа могут быть сохранены в файле на диске.

Общая последовательность проведения морфологической экспертизы дизайна с помощью компьютерной экспертной системы MORFEX выглядит следующим образом.

1. Структурная декомпозиция объекта.

Осуществляется на основании функционального анализа, сводящегося к четкой и однозначной формулировке основной функции объекта либо процесса дизайна с последующим его разбиением на отдельные составные части – функциональные элементы, реализующие его основную функцию. Общее число ФЭ определяет при этом длину *L* структуры ОЭ. Результаты функционального анализа процесса дизайна оформляются в виде таблицы анализа функций, где

в первой колонке указывается обозначение функции (либо функционального элемента), а во второй – описание его функции (таблица 1).

Вызов компьютерной электронной таблицы анализа функций осуществляется с помощью «горячей» клавиши **С** компьютерной программы (рисунок 2).

В электронную таблицу анализа функций необходимо ввести названия ФЭ (или их функций) и краткое их описание. После завершения структурной декомпозиции на экране появляется морфологическая таблица, в заголовки столбцов которой автоматически введены названия ФЭ структуры процесса проектирования дизайна либо названия групп объекта экспертизы дизайна.

2. Определение экспертных критериев и их относительной значимости.

Вызов электронной таблицы функциональных критериев (показателей) осуществляется с помощью «горячей» клавиши **К** (рисунок 3).

В электронную таблицу критериев необходимо ввести их названия и относительную значимость в процентах.

3. Формирование морфологической таблицы анализа дизайна объекта осуществляется путем ввода названий конкретной реализации этапов процесса дизайна (или их функций) в первую строку морфологической таблицы (т. н. прототип процесса дизайна). При сравнительном анализе нескольких вариантов структур каждой структу-

Таблица 1. Таблица анализа функций

Функциональный элемент	Описание функции
Ф1	Описание функции Ф1
Ф2	Описание функции Ф2
....
Ф _L	Описание функции Ф _L

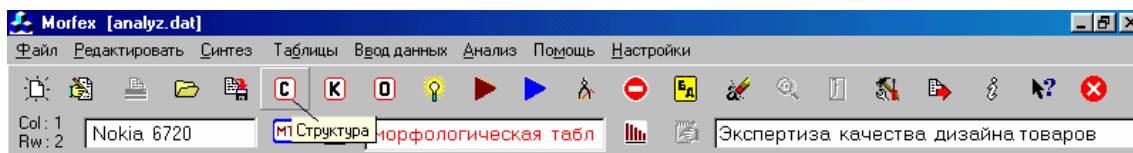


Рисунок 2

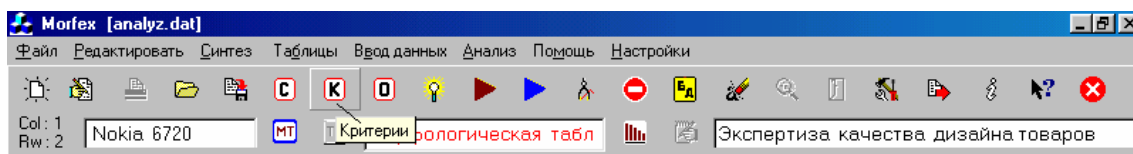


Рисунок 3

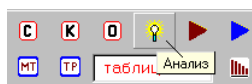
ре соответствует одна строка морфологической таблицы. При экспертизе отдельных групп объектов дизайна ввод этих групп объектов осуществляется по столбцам экспертной таблицы.

4. Экспертная оценка функциональных элементов структуры – прототипа либо отдельных объектов экспертизы по указанным в п. 2 функциональным критериям осуществляется по девятибалльной шкале экспертных оценок:

$$O_{ij}^k = 1,2,\dots,9 \quad k=\overline{1,m}, \quad (1)$$

где k – число экспертных критериев, i – номер строки морфологической таблицы, j – номер столбца. При этом минимальная оценка 1 соответствует наихудшему удовлетворению экспертного критерия, а максимальная 9 – его наилучшему удовлетворению. Экспертная оценка является весьма ответственным этапом экспертизы дизайна и во многом определяет ее объективность. Поэтому при проведении ответственных экспертиз для повышения объективности экспертных оценок дизайна обычно формируется экспертный совет, который после всестороннего обсуждения выявляет согласованные экспертные оценки, которые и вносятся затем в экспертную таблицу. Если в программу заложены расчетные соотношения – то возможен прямой расчет экспертной оценки качества дизайна объекта.

5. Проведение морфологического анализа – автоматическая процедура вычисления итоговых оценок для каждой заданной структуры процесса проектирования либо для отдельных групп объектов дизайна (позиция АНАЛИЗ главного меню):



При этом сначала по частной оценке (1) рассчитывается усредненная по всем экспертным критериям оценка каждого из функциональных элементов структуры процесса либо отдельных групп объектов дизайна:

$$O_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \alpha_k O_{ij}^k, \quad (2)$$

где α_k – значимость критерия, а затем для каждой i -ой строки, то есть каждой заданной структуры анализа, высчитывается ее итоговая оценка O_i

$$O_i = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L O_{ij} \quad (3)$$

как средневзвешенная по всем столбцам таблицы оценка, где L – длина структуры процесса

дизайна. При этом для подчеркивания разброса итоговых оценок кроме основной линейной шкалы (3) могут быть применены нелинейные шкалы – квадратичная (квадрат линейной оценки), кубическая и биквадратная:

$$O_i^{\text{квадр}} = O_i^2, O_i^{\text{куб}} = O_i^3, O_i^{\text{бикв}} = O_i^4.$$

Результаты структурного анализа выводятся в электронную таблицу решений с указанием построчно анализируемой структуры процесса дизайна, средней оценки (2) каждого входящего в нее этапа и итоговой оценки (3) для всей структуры в целом. Усредненная оценка (2) каждого ФЭ характеризует его качество, его «полезность», вклад в итоговую оценку всей структуры объекта дизайна. Сравнивая итоговые оценки, можно делать выводы об эффективности той или иной структуры процесса дизайна, текущей эффективности каждого элемента или процесса в целом. Результаты анализа качества дизайна отдельных групп объектов выводятся в электронную рейтинговую таблицу по каждой группе объектов экспертизы, где все объекты представлены в убывании квадратичной оценки качества их дизайна.

Синтез оптимальной структуры

Синтез оптимального процесса проектирования дизайна объекта на морфологической таблице 2 (МТ) сводится к процедуре поиска такой структуры процесса, такого сочетания функциональных его элементов – этапов процесса, которое обеспечивает максимальное удовлетворение заданных экспертных критериев, т. е. обеспечивает максимальное качество дизайна.

Таким образом, основными этапами морфологического синтеза оптимальной структу-

Таблица 2. Морфологическая таблица синтеза

		Функциональные элементы структуры							
		ФЭ ₁	ФЭ ₂	ФЭ ₃	ФЭ ₄	...	ФЭ _j	...	ФЭ _L
Р	1	A ₁ ¹	A ₁ ²	A ₁ ³	A ₁ ⁴	A ₁ ^{...}	A ₁ ^j	A ₁ ^{...}	A ₁ ^L
	2	A ₂ ¹	A ₂ ²	A ₂ ³	A ₂ ⁴	A ₂ ^{...}	A ₂ ^j	A ₂ ^{...}	A ₂ ^L
е	3	A ₃ ¹	A ₃ ²	A ₃ ³	A ₃ ⁴	A ₃ ^{...}	A ₃ ^j	A ₃ ^{...}	A ₃ ^L
	4	A ₄ ¹	A ₄ ²	A ₄ ³	A ₄ ⁴	A ₄ ^{...}	A ₄ ^j	A ₄ ^{...}	A ₄ ^L
а	...	A ₅ ¹	A ₅ ²	A ₅ ³	A ₅ ⁴	A ₅ ^{...}	A ₅ ^j	A ₅ ^{...}	A ₅ ^L
	...	A ₆ ¹	A ₆ ²	A ₆ ³	A ₆ ⁴	A ₆ ^{...}	A ₆ ^j	A ₆ ^{...}	A ₆ ^L
л	...	A ₇ ¹	A ₇ ²	A ₇ ³	A ₇ ⁴	A ₇ ^{...}	A ₇ ^j	A ₇ ^{...}	A ₇ ^L
	...	A ₈ ¹	A ₈ ²		A ₈ ⁴	A ₈ ^{...}	A ₈ ^j	A ₈ ^{...}	A ₈ ^L
и	...	A ₉ ¹					A ₉ ^j	A ₉ ^{...}	
	J _{ni}						A ₁₀ ^j	A ₁₀ ^{...}	

ры процесса проектирования дизайна являются следующие этапы.

1. Функциональный анализ процесса и его структурная декомпозиция осуществляется так же, как и при решении задачи экспертизы. При этом обычно используется одна и та же таблица анализа функций.

2. Определение критериев синтеза и их относительной значимости. Задание требуемых функциональных критериев и их ввод в систему осуществляется точно так же, как и при решении задачи анализа.

3. Формирование морфологической таблицы синтеза оптимальной структуры процесса дизайна осуществляется путем внесения в столбцы МТ альтернативных вариантов реализации каждого ФЭ – конкретного этапа процесса дизайна. В первую строку морфологической таблицы синтеза обычно вносится исходная структура-прототип из таблицы морфологической экспертизы, а затем в столбцы МТ записываются возможные наиболее интересные и эффективные альтернативы A_{ij} реализации каждого этапа процесса. Для выявления таких альтернатив целесообразно использовать различные информационные фонды: справочники, энциклопедии, опросы специалистов и т. д.

3. Экспертная оценка альтернатив, внесенных в МТ, по указанным функциональным критериям осуществляется так же, как это было описано в предыдущем разделе, используя девятибалльную шкалу экспертных оценок (1). Для большей объективности оценок формируется экспертный совет.

4. Синтез оптимального решения. Принципиальное решение определяет ту или иную структуру S процесса проектирования дизайна. Принципиальное решение (ПР) получается, если из каждого столбца МТ взять по одной альтернативе (выделенные цветом ячейки на морфологической таблице):

$$\text{ПР} = \{ A_{i1}, A_{i2}, A_{i3}, \dots, A_{ij}, \dots, A_{iL} \} \quad i = \overline{1, n_j}.$$

Общее число возможных принципиальных решений (возможных структур процесса дизайна) очень велико и равно произведению числа альтернатив в столбцах:

$$N = n_1 * n_2 * \dots * n_L.$$

При этом оценка каждого принципиального решения **Опр** формируется из частных оценок (2) входящих в него альтернатив:

$$O_{\text{пр}} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L O_{ij}, \tag{4}$$

считая, что индекс строки i при усреднении по длине структуры L также может изменяться (номер альтернативы в столбце).

Проведение синтеза сводится к поиску на морфологической таблице **оптимального решения**, как принципиального решения, обладающего максимальной оценкой (4) из всех решений на данной МТ. Таким образом, оптимальное решение (оптимальная структура S^o процесса проектирования дизайна) определяется решением следующей задачи оптимизации:

$$O(S^o) = \max_{\substack{S \in \text{МТ} \\ \text{SZ} \nsubseteq S^o}} O_{\text{пр}}(S), \tag{5}$$

где **SZ** – запрещенные сочетания альтернатив, то есть связи альтернатив, не сочетаемых в оптимальной структуре процесса дизайна по каким либо входным $P_{\mu}^{\text{ВВХ}}$ и выходным $P_{\mu}^{\text{ВЫХ}}$ характеристикам:

$$\text{SZ: } \left\{ \begin{aligned} &A_{\mu} - A_{\nu} \mid P_{\mu}^{\text{ВВХ}} \neq P_{\nu}^{\text{ВВХ}} \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ &A_{\text{q}} - A_{\text{r}} - \dots - A_{\text{p}} \mid P_{\text{q}}^{\text{ВВХ}} \neq P_{\text{r}}^{\text{ВВХ}} \dots \neq P_{\text{p}}^{\text{ВВХ}} \end{aligned} \right.$$

Для ввода таких запрещенных сочетаний альтернатив в программе существует электронная таблица запретов.

Экстремальная задача (5) может быть решена методами дискретного программирования, что довольно сложно реализовать. Поэтому чаще для решения задачи оптимизации используется метод перебора [3], [6] всех возможных допустимых сочетаний альтернатив на морфологической таблице по критерию максимума суммарной оценки. Ограниченный объем статьи не позволяет привести конкретный пример решения задачи морфологического синтеза процесса дизайна, однако, как показывает практика решения реальных задач, совокупное качество процесса дизайна при оптимизации на морфологической таблице может быть повышено в несколько раз по сравнению с прототипом – исходным состоянием процесса.

Заключение

Морфологические системы экспертизы обладают несомненными достоинствами в сравнении с традиционными системами искусствен-

ного интеллекта и соответствуют основным тенденциям развития науки. Эффективность внедрения таких систем в практику определяется прежде всего высоким качеством решения как задач собственно экспертизы качества дизайна отдельных объектов, так и задач управления процессом дизайна по совокупности функциональных критериев. Применение морфологи-

ческих систем позволяет повысить совокупные качества объекта экспертизы в несколько раз. С другой стороны, эффективность внедрения определяется как простотой освоения, так и относительно низкой стоимостью компьютерной реализации морфологической экспертной системы, что позволит осуществить ее массовое внедрение на всех уровнях.

15.09.2012

Список литературы:

1. Таунсенд, Т. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ / Т. Таунсенд, Д. Фохт. – Москва : Финансы и статистика, 1990. – 340 с.
2. Поднебеснов, С. А. Научные основы дизайна / С. А. Поднебеснов // Философский контекст науки и техники. Сборник научных трудов. – Н. Новгород : ННГАСУ, 2009. – 188 с. – С. 175–183.
3. Воинов, Б. С. Информационные технологии и системы : поиск оптимальных, оригинальных и рациональных решений / Б. С. Воинов, В. Н. Бугров, Б. Б. Воинов. – М. : Наука, 2007. – 730 с.
4. Бугров, В. Н. Компьютерная поддержка морфологического метода анализа и синтеза сложных систем / В. Н. Бугров, Б. С. Воинов // Математическое моделирование в образовании. Программные средства : Межвузовский сборник научных трудов / под редакцией Р. Г. Стронгина. – Нижний Новгород : изд. ННГУ, 1993. – 141 с.
5. Одрин, В. М. Морфологические методы поиска / В. М. Одрин. – Киев : Наукова думка, 1986. – 224 с.
6. Городнов, А. Г. Организационный потенциал и реинжиниринг бизнес-процессов. Монография / А. Г. Городнов, Л. Ф. Суходоева, В. Н. Бугров. – Н. Новгород : изд. ВВАГС, 2005. – 148 с.

Сведения об авторе:

Поднебеснов Сергей Александрович, доцент кафедры промышленного дизайна Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, председатель правления Нижегородского регионального отделения Общероссийской общественной организации «Союз Дизайнеров России», кандидат философских наук
e-mail: design_nn@mail.ru

UDC 73/76

Podnebesnov S.A.

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
Nizhny Novgorod regional department of the All-Russian public organization «Association of Designers of Russia», e-mail: design_nn@mail.ru

EXPERT SYSTEMS FOR THE TASKS OF DESIGN MANAGEMENT

Considered questions methodology of managing engineering design on the basis of the morphological method. Estimated advantages and basic tasks and stages of morphological examination.

Key words: design, design management, expertise of design.

Bibliography:

1. Townsend, T. Design and software implementation of expert systems on personal computers / T. Townsend, D. Vogt. – Moscow : Finance and Statistics, 1990. – 340 p.
2. Podnebesnov, S. A. Scientific basis of design / S. A. Podnebesnov // Philosophical context of science and technology. Collection of scientific works. – Nizhny Novgorod : NNGASU, 2009. – 188 p. – P. 175–183.
3. Voinov, B. S. Information technology and systems: the search for the best, original and rational decisions / B. S. Voinov, V. N. Bugrov, B. B. Voinov. – Moscow : Nauka, 2007. – 730 p.
4. Bugrov, V. N. Computer support of morphological method of analysis and synthesis of complex systems / V. N. Bugrov, B. S. Voinov // Mathematical modeling in education. Software. Interuniversity collection of scientific papers / edited by R. G. Strongin. – Nizhny Novgorod : ed. Nizhny Novgorod state university, 1993. – 141 p.
5. Odrin, V. M. Morphological methods of search / V. M. Odrin. – Kiev : Naukova Dumka, 1986. – 224 p.
6. Gorodnov, A. G. Institutional capacity and business process reengineering. Monograph / A. G. Gorodnov, L. F. Suhodoeva, V. N. Bugrov. – Nizhny Novgorod, 2005. – 148 p.