

СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ДИЗАЙНА ОБЪЕКТА: МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ

Ключевые слова: дизайн объекта, модели, алгоритмы, процедуры сравнения вариантов дизайна, методы непараметрической статистики, выделение взаимосвязанных подмножеств мнений экспертов.

Key words: object design, models, algorithms, design variants comparison procedures, nonparametric statistics methods, indication of interdependent subcollection of experts' opinions.

Постановка задачи. Для экономики предприятия исключительно актуальной является задача сравнительной оценки и выбора варианта дизайна объекта – *варианта интерфейса программного продукта, варианта внешнего вида кузова автомобиля, варианта оформления офиса* и т.п. Действительно, удачный выбор варианта дизайна объекта может оказать решающее *позитивное влияние* на основные *экономические показатели*, характеризующие деятельность предприятия: *на величину прибыли, на конкурентные рыночные позиции, на уровень финансовой устойчивости* и др. В качестве примера, подтверждающего этот тезис, можно привести представленным в Интернет результаты одного из исследований *в области автомобилестроения*. Оказалось, что при выборе автомобиля женщины-покупательницы *главное внимание обращают на форму и цвет кузова* (в отличие от мужчин, больше интересующихся техническими характеристиками). Легко догадаться, что для автомобильной компании выбор того или иного варианта дизайна кузова автомобиля может означать *либо миллиардные прибыли, либо миллиардные убытки* (ведь число женщин, покупающих автомобили, растет почти экспоненциально). Очевидно, что поскольку речь идет *о субъективной сравнительной оценке внешнего вида* объекта и при этом невозможно получить оценку вариантов дизайна по результатам натуральных, физических экспериментов и инструментальных исследований, то *сравнить варианты* дизайна объекта возможно *только при использовании экспертных оценок*, так как именно в

результате экспертизы можно выбрать *предпочтительный вариант дизайна объекта*. Экспертные оценки характеристик объектов являются составной частью многих процедур подготовки решений (см., например, [1]). Ниже предложены корректные *процедуры*, ориентированные на использование *расстояния и медианы* Кемени и *непараметрических методов статистики* при **сравнении** вариантов внешнего вида художественно оформленного объекта.

Условия проведения экспертизы и процедуры сравнения. Можно предположить, что необходимо осуществить сравнение нескольких вариантов дизайна объекта – *вариантов интерфейса программного продукта, вариантов внешнего вида кузова автомобиля, пылесоса, вариантов оформления офиса* и т.п. Пусть $A = \{a_i\} (i \in n)$ – сравниваемые варианты дизайна объекта; $B = \{b_j\} (j \in m)$ – множество экспертов, участвующих в экспертизе; n_1 – число вариантов, оцениваемых одним экспертом.

1. $n = n_1 = 2$; $m \gg n$. Сравнимые варианты дизайна объекта оцениваются экспертами определенным числом баллов.

Процедура сравнения 1.1. Результаты сравнения могут быть представлены двумя связанными рядами оценок (таблица 1):

Таблица 1

Результаты сравнения (для условий 1)

Эксперт	Результаты экспертизы	
	Вариант a1	Вариант a2
1	α_1	β_1
2	α_2	β_2
...

i	α_i	β_i
...
m	α_m	β_m

Случай 1. Если нет уверенности в том, что распределение d_i , $d_i=(\beta_i-\alpha_i)$ подчиняется нормальному закону, то для проверки значимости различия между вариантами дизайна можно использовать **ранговый критерий Уилкоксона**. При этом нулевые значения $d_i=(\beta_i-\alpha_i)$ исключаются из рассмотрения и в расчетах число наблюдений сокращается до числа ненулевых значений d_i (до m_1). Абсолютное значение $|d_i|$ упорядочивают по рангам. Если среди ненулевых значений $|d_i|$ есть равные, то им приписывают средний ранг. Вычисляются суммы положительных $\sum R_k^{(+)}$ и отрицательных $\sum R_k^{(-)}$ рангов, и меньшая из сумм используется в качестве статистики. При $m_1 > 25$ можно воспользоваться аппроксимацией нормальным распределением.

Случай 2. Если распределение d_i , $d_i=(\beta_i-\alpha_i)$ подчиняется нормальному закону, то проверку значимости различия между вариантами дизайна можно осуществить с использованием **t-критерия** с **(m-1)** степенями свободы.

Нуль-гипотеза H_0 : математическое ожидание разности d_i равно нулю (сравниваемые варианты равноценны).

Замечание. Преимущества описанной процедуры заключаются в том, что при обработке парных наблюдений (в отличие от стандартных методов сравнения средних значений независимых выборок) уменьшается рассеяние внутри выборок. Кроме того, распределения α_i и β_i могут значительно отличаться от нормального, в то время как распределение $d_i=(\beta_i-\alpha_i)$ будет достаточно хорошо аппроксимироваться нормальным распределением.

Процедура сравнения 1.2. Гораздо меньший объем вычислений потребуется для проверки значимости различия между вариантами дизайна объекта, если воспользоваться критерием знаков Диксона и Муда. Здесь постулируется лишь независимость результатов экспертизы – результатов сравнения вариантов дизайна отдельными экспертами.

Нуль-гипотеза H_0 : разности результатов оценки обоих вариантов дизайна объекта (разности парных сравнений) в среднем (статистически) *не отличаются от нуля*, а значение медианы распределения разности равно нулю, то есть число положительных и отрицательных разностей должно быть равным. Нулевые разности исключаются из рассмотрения. Вероятность определенного числа плюсов и минусов определяется на основе биномиального распределения при $p=q=0.5$. При $m_1 > 50$ биномиальные значения могут быть аппроксимированы с помощью критерия χ^2 , вычисляемого по формуле:

$$\chi^2 = ((f_0^{(+)} - f_e - 0.5)^2 + ((f_0^{(-)} - f_e - 0.5)^2) / f_e,$$

где $f_0^{(+)}$, $f_0^{(-)}$ -- соответственно фактические (полученные в результате экспертизы) частоты знаков «плюс» и «минус», f_e – ожидаемая частота, равная $0.5 * m_1$.

Если расчетное значение χ^2 меньше табличного значения, то нулевая гипотеза принимается.

Следует, однако, учитывать, что с ростом объема выборки эффективность критерия уменьшается. Поэтому при больших m_1 для оценки вероятности определенного числа знаков можно использовать нормальное распределение, рассчитывая его параметр по формуле:

$$Z = (|2x - m_1| - 1) / \sqrt{m_1}$$

где x – наблюдаемая частота более редких знаков; m_1 – число полученных в результате экспертизы значений d_i , $d_i=(\beta_i-\alpha_i)$, $i \in m_1$ (экспертных оценок), уменьшенное на число нулевых разностей.

Процедура сравнения 1.3. В качестве быстрого критерия можно воспользоваться модификацией критерия знаков, в которой статистикой служит величина $T=|(\text{число плюсов})-(\text{число минусов})|$.

Если $T > 2\sqrt{m_1}$, то на 5%-ном уровне при двустороннем критерии разница должна рассматриваться как значимая.

2. $n=n_1=2$, $m \gg n$. Сравнимые варианты дизайна объекта оцениваются экспертами по альтернативному признаку.

Процедура сравнения 2.1. При заданных условиях результаты экспертизы целесообразно представить в виде таблицы сопряженности признаков (таблица 2) и для определения значимости различия между вариантами дизайна объекта использовать методы статистического анализа категоризованных переменных.

Например, если оцениваются варианты **a1** и **a2** дизайна программного продукта двумя группами экспертов, причем первую группу **Г1** (из m_1 специалистов) составляют разработчики программных систем, а вторую **Г2** (из m_2 специалистов) – программисты-пользователи.

Нулевая гипотеза H_0 : доли экспертов из первой и второй групп, предпочитающих вариант **a1 (a2)**, совпадают. Альтернативная гипотеза **H_1 :** доли экспертов из каждой группы, отдающих предпочтение варианту **a1 (a2)** в генеральной совокупности, разные.

Результаты оценки могут быть представлены в таблице сопряженности признаков вида:

Таблица 2

Сравнение вариантов дизайна по альтернативному признаку

	Вариант дизайна a1	Вариант дизайна a2	Итого:
Г1 (дизайнеры - разработчики интерфейса ПП и др.)	A	B	A+B=m1
Г2 (покупатели-пользователи)	C	D	C+D=m2
Итого:	A+C	B+D	m

Замечание. Чтобы элиминировать влияние на результаты экспертизы очередности, в которой варианты дизайна объекта предъявляются эксперту, целесообразно проводить попарные сравнения вариантов разными группами специалистов и представлять результаты оценки в виде нескольких таблиц сопряженности признаков с последующим статистическим анализом адекватности результатов сравнения.

Процедура сравнения 2.2. При сравнении вариантов дизайна объекта по нескольким показателям, например, по таким показателям, как: трудоемкость технической подготовки производства (ТПП), себестоимость изготовления, удобство обслуживания и др., результаты экспертизы могут быть представлены в виде **k*2**–таблицы сопряженности признаков.

Таблица 3

Сравнение вариантов дизайна при учете нескольких показателей качества

Учитываемые показатели качества объекта	Сравниваемые варианты дизайна объекта	
	Вариант 1	Вариант 2
Интерфейс ПП (форма кузова автомобиля, потолка офиса и т.д.)	A1	B1
Трудоемкость ТПП	A2	B2
Себестоимость изготовления	A3	B3

Здесь A_i , B_i -- количество экспертов, отдавших предпочтение варианту 1 (варианту 2) дизайна объекта по i -му показателю.

Нулевая гипотеза H_0 : в структуре результатов экспертизы обоих вариантов дизайна нет статистически значимых различий, то есть по совокупности рассматриваемых (учитываемых) показателей (характеристик) варианты дизайна одинаковы.

Для проверки нуль-гипотезы можно использовать χ^2 -критерий Брандта и Снедекора с $(k-1)$ степенями свободы.

Замечание. Если исходные данные представляются в виде таблиц сопряженности признаков (*номинальная шкала*), то при оценке связи между переменными могут использоваться различные модели, включая логарифмически-линейную, и меры связи. Однако, как отмечается в [2, с. 139], *«с точки зрения оценки статистической значимости связи между строками и столбцами, традиционный и логлинейный подходы к таблицам сопряженности, с одной стороны, и дуальное шкалирование, с другой стороны, дают сравнительно близкие результаты».*

3. $n > 2$, $m = en$ ($e \geq 1$). Причем эксперты достаточно компетентны, чтобы оценивать все n сравниваемых вариантов дизайна.

Можно предположить, что необходимо осуществить сравнение нескольких вариантов дизайна объекта при условии, что допустимы *только попарные сравнения*, то есть каждый эксперт *попарно* сравнивает все n вариантов дизайна конкретного объекта. В результате экспертизы необходимо *выявить и оценить взаимосвязи между ранжированиями отдельных экспертов* и получить *согласованные упорядочения вариантов дизайна* для отдельных подмножеств взаимосвязанных ранжирований. Существующие подходы к сравнительной оценке вариантов дизайна объекта при использовании *попарных сравнений*, включая описанную в [1] процедуру попарных сравнений сложных объектов по характеристикам качества, *не позволяют корректно* выявить *взаимосвязанные упорядочения* и *проанализировать причины совпадения мнений экспертов*.

Предлагаемая процедура упорядочения вариантов дизайна. Пусть имеются варианты **A, B, C, D** внешнего вида объекта **M**. Эти варианты необходимо упорядочить с целью выбора варианта дизайна объекта **M** с *лучшим сочетанием* эстетических качеств (свойств).

Последовательность шагов алгоритма:

Шаг 1. Каждому эксперту с использованием таблицы (или датчика) случайных чисел предлагаются для сравнения последовательно пары вариантов дизайна объекта **М**. Можно предположить, например, что эксперт \mathcal{E}_j , получив пару **В** и **С**, делает выбор в пользу **С**. На следующем этапе этому эксперту предлагается сравнить **С** и **А** (вариант **А** выбран также случайно). Эксперт выбирает **А**. И, наконец, при сравнении **А** и **Д** выбирает **Д**. Этапы сравнения можно представить в виде цепочки: $(\mathbf{B} \leftrightarrow \mathbf{C}) \rightarrow \mathbf{B}$; $(\mathbf{B} \leftrightarrow \mathbf{A}) \rightarrow \mathbf{A}$; $(\mathbf{A} \leftrightarrow \mathbf{D}) \rightarrow \mathbf{D}$. В свою очередь эксперт \mathcal{E}_{j+k} выполняет сравнение вариантов в такой последовательности: $(\mathbf{C} \leftrightarrow \mathbf{A}) \rightarrow \mathbf{C}$; $(\mathbf{C} \leftrightarrow \mathbf{D}) \rightarrow \mathbf{C}$; $(\mathbf{C} \leftrightarrow \mathbf{B}) \rightarrow \mathbf{C}$; $(\mathbf{D} \leftrightarrow \mathbf{A}) \rightarrow \mathbf{A}$; $(\mathbf{A} \leftrightarrow \mathbf{B}) \rightarrow \mathbf{B}$.

Шаг 2. По результатам экспертных оценок вариантов дизайна строятся матрицы доминирования, отражающие отношения доминирования между вариантами дизайна объекта. Элементы матриц равны либо 0, либо 1. Элемент 1, стоящий в **i**-й строке и **j**-м столбце, означает, что **i**-й вариант доминирует над **j**-м. Соответственно 0 служит для указания отсутствия явного доминирования.

Матрицы доминирования $\| \mathcal{E}_j \|$ и $\| \mathcal{E}_{j+k} \|$ для ранжирований экспертов \mathcal{E}_j и \mathcal{E}_{j+k} имеют вид:

$$\| \mathcal{E}_j \| =$$

\mathcal{E}_j	A	B	C	D
A	0	1	0	0
B	0	0	1	0
C	0	0	0	0
D	1	0	0	0

$$\| \mathcal{E}_{j+k} \| =$$

\mathcal{E}_{j+k}	A	B	C	D
A	0	0	0	1
B	1	0	0	0

C	1	1	0	1
D	0	0	0	0

Шаг 3. Оценивается степень доминирования вариантов дизайна у каждого из экспертов (см., например, [4]). Для эксперта \mathcal{E}_j : $S_j = \|\mathcal{E}_j\| + (\|\mathcal{E}_j\|)^2$, а для \mathcal{E}_{j+k} : $S_{j+k} = \|\mathcal{E}_{j+k}\| + (\|\mathcal{E}_{j+k}\|)^2$. Выполнив расчеты, можно получить:

Варианты дизайна	...	\mathcal{E}_j	...	\mathcal{E}_{j+k}	...
A	...	2	...	1	...
B	...	1	...	2	...
C	...	0	...	5	...
D	...	3	...	0	...

Шаг 4. Обработка полученных результатов экспертизы осуществляется с ориентацией на аксиоматический подход к упорядочению по предпочтениям, предложенный Дж. Кемени. В соответствии с [4, 5], каждое экспертное ранжирование представляется в виде матрицы упорядочения в канонической форме. Элементы этих матриц соответственно равны: **1**, если i предпочтительнее j ; **-1**, если j предпочтительнее i ; **0**, если i и j равноценны.

Шаг 5. Определяются расстояния Кемени $\{d_{ij}\}$ между всеми ранжированиями. Выбирается, исходя из реальной степени согласованности ответов экспертов, пороговое значение расстояния $d_{пор}$. Выполняется преобразование значений расстояния Кемени $\{d_{ij}\}$ в относительные единицы $\{d_{ij}^0\}$ в соответствии с выбранным пороговым значением $d_{пор}$: Затем выбирают пороговое значение $d_{пор}^0$. В качестве порогового значения $d_{пор}^0$ целесообразно выбирать величины 0.05 или 0.1, то есть в этом случае будут сгруппированы ответы, степень согласованности которых будет не ниже 95

или 90 процентов. В процессе такого преобразования каждое значение d_{ij}^0 сопоставляется с $d_{пор}^0$ и если $0 < d_{ij}^0 < d_{пор}^0$, то ставится 1, в противном случае – 0. В результате формируется матрица взаимосвязи между ранжированиями экспертов [6].

Шаг 6. Рассчитываются значения медианы Кемени для взаимосвязанных ранжирований. С этой целью выполняется поиск ранжирования, максимально согласованного с выделенной группой взаимосвязанных ответов. В соответствии с [4], согласованное ранжирование должно быть точкой, наиболее связанной с множеством *возможных* упорядочений. Однако при достаточно большом числе экспертов расчеты можно существенно упростить, если ориентироваться только на ответы участников экспертизы. Ведь, как показано в [5], если выборка достаточно велика, то вероятность получить искомое согласованное упорядочение очень близка к единице. Поэтому представляется содержательно оправданным выбор в качестве медианы Кемени такого ранжирования, у которого величина $\sum d_{ij}^2$ минимальна.

Шаг 7. Анализируются возможные *причины наличия взаимосвязи* между подмножествами согласованных ранжирований: либо это совпадение мнений *пользователей*, либо *проектировщиков*, *потенциальных покупателей* и т.д.

ВЫВОДЫ. 1. Предложены *процедуры*, ориентированные на использование *расстояния и медианы Кемени* и *непараметрических методов статистики* при **сравнении** вариантов внешнего вида художественно оформленного объекта в заданных условиях проведения экспертизы. Выполнено соотнесение предлагаемых процедур с условиями проведения экспертизы.

2. Показано, что предложенные процедуры **позволяют корректно осуществлять** сравнительную оценку вариантов дизайна объекта – *вариантов интерфейса программного продукта, вариантов внешнего вида*

кузова автомобиля, вариантов оформления офиса и т.п., выделять взаимосвязанные подмножества мнений экспертов и проводить анализ причин такой взаимосвязи.

Библиографический список

- 1.Хубаев Г.Н. Экспертная оценка качества сложных систем//Материалы Межгосударственной науч.-практич. конф. «Проблемы проектирования и управления экономическими системами: инвестиционный аспект». Ч.1. (Ростов-на-Дону, 23-24 марта 1998г.). – Ростов-на-Дону, 1998, С. 67-83.
- 2.Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. Справ. изд./Айвазян С.А., Бухштабер В.Б., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.: Под ред. С.А.Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989, с.139.
- 3.Хубаев Г.Н. Математические методы и вычислительная техника в задачах упорядочения объектов и при отборе значимых факторов. – Ростов-на-Дону, 1975. – 99с.
- 4.Кемени Дж., Снелл Дж. Кибернетическое моделирование. Некоторые приложения. Нью-Йорк, 1963-1970. Пер. с англ. Б.Г. Миркина. Под ред. И.Б. Гутчина. М., 1972
- 5.Kemeny J.G. Generalized random variables. Pacific Journal of Mathematics, vol. 9, 1959, p. 1179-1189.
- 6.Хубаев Г.Н. Выделение согласованных групп ответов экспертов при ранжировании объектов// ВОПРОСЫ ЭКОНОМИЧЕСКИХ НАУК. – 2010. - №5 (44). – С.79-81.

ОПУБЛИКОВАНО: //ВЕСТНИК Ростовского государственного университета (РИНХ). – 2011. - №3. – с. 167-174.

LITERATURE

- 1.Khubaev G.N. Expert Estimation of Quality of the Complicated System / Materials of the International Research and Practice Conference “Economic Systems Design and Management Problems: Investment Aspect”. Part 1. (Rostov-on-Don, March 23-24, 1998).-Rostov-on-Don, 1998, > 67-83.
- 2.Practical Statistics. Applied Statistics: Classification and Dimension Reduction./ Aivazyan S.A., Buhkshtaber V.B., Enyukov I.S., Meshalkin L.D.: Under the editorship of S.A. Aivazyan. – M., Finance and Statistics, 1989, p. 139.

3.Khubaev G.N. Mathematical Methods and Computer Technologies in Problems of Ordering Objects and Significant Factors Selection. – Rostov-on-Don, 1975. – 99 p.

4.J. Kemeny and J. Snell, Cybernetic Modeling. Some Applications, New York, 1963-1970. Translation from English by B.G. Mirkin, under the editorship of I.B. Gutchin. M. 1972.

5.Kemeny J.G. Generalized Random Variables. Pacific Journal of Mathematics, vol. 9, 1959, p. 1179-1189.

6.Khubaev G.N. Selection of Conformal Groups of Expert Answers at Objects Rating// Problems of Economical Sciences. – 2010.- No 5 (44). – P. 79-81.

ОПУБЛИКОВАНО: //ВЕСТНИК Ростовского государственного университета (РИНХ). – 2011. - №3. – с. 167-174.

Г.Н. Хубаев

СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ДИЗАЙНА ОБЪЕКТА: МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ

Предложены *процедуры*, ориентированные на использование *расстояния и медианы* Кемени и *непараметрических методов статистики* при *сравнении* вариантов внешнего вида художественно оформленного объекта. Показано, что предложенные процедуры **позволяют корректно осуществлять** сравнительную оценку вариантов дизайна объекта – *вариантов интерфейса программного продукта, вариантов внешнего вида кузова автомобиля, вариантов оформления офиса* и т.п., **выделять взаимосвязанные подмножества** мнений экспертов и **проводить анализ** причин такой взаимосвязи.

G.N. Khubaev

Comparison of object design variants: models and algorithms

There are introduced the procedures oriented to the use of Kemeny Median and Distance and the nonparametric statistics methods in the comparison of design variants of the artwork object. It was demonstrated that the introduced procedures allow making the correct comparative estimate of object design variants – software product interface variants, vehicle body design variants, office design variants and so on, singling out the interdependent subcollection of experts' opinions and carrying out the analysis of such interdependence causes.