

УДК 51-7

## ТАКСОНОМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ОЦЕНКЕ МОСТОВЫХ КРАНОВ

**Жетесова Г.С., Жунусова А.Ш., Жаркевич О.М.**

*РГП на ПХВ «Карагандинский государственный технический университет», Караганда,  
e-mail: zharkevich82@mail.ru*

Описан метод сравнительного анализа в таксономической квалиметрии. Статья описывает формирование матриц наблюдений для факторного анализа. Признаки матрицы наблюдений неоднородны, так как описывают разные свойства объектов. Для стандартизации признаков необходимо предварительное преобразование. Приведена процедура дифференциации признаков матрицы наблюдений. В статье оценен уровень качества крана мостового электрического двухбалочного траверсного. Произведена стандартизация каждого признака крана. Построена матрица стандартизованных признаков крана. Признаки матрицы разделены на стимуляторы и дестимуляторы. Определен эталон развития для каждого крана на основе определения расстояния между отдельными точками-единицами и точкой, представляющей эталон развития. Рассчитан показатель уровня развития для каждого крана мостового электрического двухбалочного траверсного. Построен оптимальный дендрид для выбора аналогов кранов.

**Ключевые слова:** таксономия, матрица наблюдений, кран, уровень развития

## TAKSONOMY METHODS FOR EVALUATING OF BRIDGE CRANES

**Zhetessova G.S., Zhunussova A.S., Zharkevich O.M.**

*Karaganda state technical university, Karaganda, e-mail: zharkevich82@mail.ru*

Taxonomy is the science of principles and practice for classification and systematization. There is a method of comparative analysis of taxonomic qualimetry. This article describes the formation of observation matrixes for factor analysis. Signs of observation matrix are inhomogeneous because describe different properties of objects. It is necessary to standardize signs in prior conversion. The procedure of differentiation of signs observation matrix is describe in the article. There is a standardized feature of each crane. The matrix of standardized signs for crane is built. Signs of a matrix are divided into stimulators and disincentives. There is development etalon for each of the crane on the basis of determining the distance between individual points-units and a point of etalon. An indicator of the development level for each electric double-girder bridge traverse crane is calculated in the article. Optimal dendrite is built to select crane analogs.

**Keywords:** taxonomy, observation matrix, crane, development level

Таксономия – это учение о правилах упорядочения и классификации [1].

При оценке уровня качества крана мостового электрического двухбалочного траверсного  $Q = 10$  т А7 были использованы такие методы таксономии, как построение матриц наблюдений, расчет матриц расстояний, определение эталона развития, определение показателя уровня развития, построение дендрида.

Для оценки уровня качества крана мостового электрического двухбалочного траверсного была построена матрица наблюдений. Она состоит из численных значений определяющих единичных показателей оцениваемого крана мостового электрического двухбалочного траверсного  $Q = 10$  т и четырех образцов-аналогов. Соответствующие показатели оцениваемого изделия и ряда аналогов представлены в табл. 1.

**Таблица 1**

Показателей качества оцениваемого изделия и образцов-аналогов

Показатели качества	Кран мостовой электрический двухбалочный траверсный				
	Q = 10 т А7	Q = 5 т А7	Q = 5 т А3	Q = 5 т А2	Q = 10 т А5
Грузоподъемность, т	10	5	5	5	10
Высота подъема, м	12	10	6,3	12	12
Длина пролёта, м	22,5	18	22,5	16,5	16,5
Скорость главного подъема, м/мин	14	12	7,8	7,8	12
Скорость передвижения крана, м/мин	74,4	76	30	30	52,8
Скорость передвижения тележки, м/мин	33	48	19,8	20	33

Матрица наблюдений, в столбцах которой расположены одноименные показатели, в строках – все определяющие единичные показатели одного из образцов-аналогов, представлена ниже.

$$X = \begin{pmatrix} 10 & 12 & 22,5 & 14 & 74,4 & 33 \\ 5 & 10 & 18 & 12 & 76 & 48 \\ 5 & 6,3 & 2,5 & 7,8 & 30 & 19,8 \\ 5 & 12 & 16,5 & 7,8 & 30 & 20 \\ 10 & 12 & 16,5 & 12 & 52,8 & 33 \end{pmatrix}$$

Составляющие матрицы неоднородны, так как описывают разные свойства двухбалочных кранов. Кроме того, различаются их единицы измерения, что еще более затрудняет выполнение некоторых арифметических действий, необходимых в отдельных процедурах [2]. Поэтому необходимо произвести стандартизацию признаков. Для начала определим среднее арифметическое значение  $\bar{x}_k$  признака  $k$ . Численные значения одноименных признаков приведены в столбцах матрицы:

$$\bar{x}_1 = 7, \quad \bar{x}_2 = 10,46, \quad \bar{x}_3 = 19,2 \\ \bar{x}_4 = 10,72, \quad \bar{x}_5 = 52,64, \quad \bar{x}_6 = 30,76.$$

Затем рассчитаем стандартное отклонение  $S_k$  признака  $k$ :

$$s_1 = 2,45; s_2 = 2,22; s_3 = 2,75; \\ s_4 = 2,05; s_5 = 20,22; s_6 = 10,42.$$

Для стандартизации признаков используем формулу (1) [2]:

$$z_{ik} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{S_k}, \quad (1)$$

причем:

$$\bar{x}_k = \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^{\omega} x_{ik}, \quad (2)$$

$$s_k = \left[ \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^{\omega} (x_{ik} - \bar{x}_k)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где  $k = 1, 2, \dots, n$ ;  $x_{ik}$  – значение признака  $k$  для единицы  $i$ ;  $\bar{x}_k$  – среднее арифметическое значение признака  $k$ ;  $S_k$  – стандартное отклонение признака  $k$ ;  $z_{ik}$  – стандартизованное значение признака  $k$  для единицы  $i$ .

Получим:

$$\begin{aligned} & \text{– грузоподъемность: } z_{11} = 1,22; z_{21} = -0,82; \\ & z_{31} = -0,82; z_{41} = -0,82; z_{51} = 1,22; \\ & \text{– высота подъема: } z_{12} = 0,7; z_{22} = -0,2; z_{32} = \\ & 1,87; z_{42} = 0,7; z_{52} = 0,7; \\ & \text{– длина пролёта: } z_{13} = 1,2; z_{23} = -0,44; \\ & z_{33} = 1,2; z_{43} = -1; z_{53} = -1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{– скорость главного подъема: } z_{14} = 1,6; \\ & z_{24} = 0,62; z_{34} = -1,42; z_{44} = -1,42; z_{54} = 0,62; \\ & \text{– скорость передвижения крана: } z_{15} = 1,08; \\ & z_{25} = 1,16; z_{35} = -1,12; z_{45} = -1,12; z_{55} = -0,008; \\ & \text{– скорость передвижения тележки:} \\ & z_{16} = 0,21; z_{26} = 1,65; z_{36} = -1,05; z_{46} = -1,03; \\ & z_{56} = 0,21. \end{aligned}$$

По вычисленным значениям стандартизованных признаков составим матрицу вида:

$$X = \begin{pmatrix} 1,22 & 0,7 & 1,2 & 1,6 & 1,08 & 0,21 \\ -0,82 & -0,2 & -0,44 & 0,62 & 1,16 & 1,65 \\ -0,82 & -1,87 & 1,2 & -1,42 & -1,12 & -1,05 \\ -0,82 & 0,7 & -1 & -1,42 & -1,12 & -1,03 \\ 1,22 & 0,7 & -1 & 0,62 & 0,008 & 0,21 \end{pmatrix}$$

Далее проведем в дифференциацию признаков матрицы наблюдений – разделение ее на стимуляторы и дестимуляторы.

По данным табл. 1 к стимуляторам отнесем все показатели качества, так как оказывают они положительное, стимулирующее влияние на уровень развития.

Подобное разделение – основа для построения эталона развития, который представляет собой точку  $P_0$  с координатами  $z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0n}$ :

$$z_{0s} = \max_{rs} z_{rs}, \text{ если } z_{10}, \quad (4)$$

$$z_{0s} = \min_{rs} z_{rs} \text{ если } z_{11}, \quad (5)$$

где  $I$  – множество стимуляторов;  $z_{rs}$  – стандартизованное значение признака  $s$  для единицы  $r$ .

Имеем:

$$z_{01} = \max z_{51} = 1,22; z_{02} = \max z_{52} = 0,7; \\ z_{03} = \max z_{33} = 1,2.$$

$$z_{04} = \max z_{14} = 1,6; z_{05} = \max z_{25} = 1,16; \\ z_{05} = \max z_{26} = 1,65.$$

Обоснованным выбором точных значений из матрицы является установление максимального/минимального стандартизованного значения одноименного признака по столбцам в зависимости от принадлежности/непринадлежности ко множеству стимуляторов  $I$  [2].

Определим эталон развития для каждого крана мостового электрического двухбалочного траверсного в отдельности, используя формулу (6):

$$c_0 = \bar{c}_0 + 2S_0. \quad (6)$$

Эталон развития для крана мостового электрического двухбалочного траверсного  $Q = 10$  т А7:

$$c_{10} = \left[ (1,22 - 1,22)^2 + (0,7 - 0,7)^2 + (1,2 - 1,2)^2 + (1,6 - 1,6)^2 + (1,08 - 1,16)^2 + (0,21 - 1,65)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 1,44.$$

Эталон развития для крана мостового электрического двухбалочного траверсного  $Q = 5$  т А7:

$$c_{20} = \left[ (-0,82 - 1,22)^2 + (-0,2 - 0,7)^2 + (-0,44 - 1,2)^2 + (0,62 - 1,6)^2 + (1,16 - 1,16)^2 + (1,65 - 1,65)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 2,93$$

Эталон развития для крана мостового электрического двухбалочного траверсного  $Q = 5$  т А3:

$$c_{30} = \left[ (-0,82 - 1,22)^2 + (-1,87 - 0,7)^2 + (1,2 - 1,2)^2 + (-1,42 - 1,6)^2 + (-1,12 - 1,16)^2 + (-1,05 - 1,65)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 5,67.$$

Эталон развития для крана мостового электрического двухбалочного траверсного  $Q = 5$  т А2:

$$c_{40} = \left[ (-0,82 - 1,22)^2 + (0,7 - 0,7)^2 + (-1 - 1,2)^2 + (-1,42 - 1,6)^2 + (-1,12 - 1,16)^2 + (-1,03 - 1,65)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 5,52.$$

Эталон развития для крана мостового электрического двухбалочного траверсного  $Q = 10$  т А5:

$$c_{50} = \left[ (1,22 - 1,22)^2 + (0,7 - 0,7)^2 + (-1 - 1,2)^2 + (0,62 - 1,6)^2 + (0,008 - 1,16)^2 + (0,21 - 1,65)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 3,03.$$

Определим обобщенный эталон развития  $c_0$ , с учетом каждого эталона в отдельности. Для этого рассчитаем среднее арифметическое значение из 5 эталонов развития (7), а затем их среднее квадратическое отклонение  $S_0$  (8).

$$\bar{c}_0 = \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^{\omega} c_{i0}, \quad (7)$$

$$S_0 = \left[ \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^{\omega} (c_{i0} - \bar{c}_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (8)$$

Расчетами установлено:

$$\bar{c}_0 = \frac{1}{5} (1,44 + 2,93 + 5,67 + 5,52 + 3,03) = 3,72.$$

$$S_0 = \left[ \frac{1}{5} (1,44 - 3,72)^2 + (2,93 - 3,72)^2 + (5,67 - 3,72)^2 + (5,52 - 3,72)^2 + (3,03 - 3,72)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 1,63.$$

$$c_0 = 3,72 + 2 \cdot 1,63 = 6,98.$$

Теперь приступим к определению показателя уровня развития  $d_i$  каждого крана в отдельности:

$$d_1 = \frac{1,44}{6,98} = 0,206; \quad d_2 = \frac{2,93}{6,98} = 0,42; \quad d_3 = \frac{5,67}{6,98} = 0,81;$$

$$d_4 = \frac{5,52}{6,98} = 0,8; \quad d_5 = \frac{3,03}{6,98} = 0,43.$$

Согласно теории, чем ближе значение показателя  $d_i$  к нулю, тем выше уровень развития объекта.

По представленным расчетам было установлено, что значение показателя уровня развития рассматриваемого крана мостового при равно 0,206 и оно более всех приближено к нулю по сравнению с аналогами. Учитывая выше изложенное можно сделать вывод, что оцениваемый кран мостовой электрический двухбалочный траверсный  $Q = 10$  т А7 располагается на более высоком уровне развития в сравнении с имеющимися аналогами по совокупности всех его свойств.

Также можно оценить качество продукции на основе построения дендрита. Он применяется, когда существует огромное множество проектов-аналогов и требуется выбрать среди них один базовый образец.

Построение оптимального дендрита заключается в установлении связей между аналогами, имеющими малое отличие между собой [2]. Поэтому из составленной ранее матрицы расстояний выбираются единицы с близкими значениями признаков. Для этого немного изменим матрицу, перенеся ее элементы в табл. 2, добавим строку и столбец с соответствующим порядковым номером аналога:

- кран  $Q = 10$  т А7 – 1;
- кран  $Q = 5$  т А7 – 2;
- кран  $Q = 5$  т А3 – 3;
- кран  $Q = 5$  т А2 – 4;
- кран  $Q = 10$  т А5 – 5.

На первом этапе из полученных элементов матрицы выбираются единицы с близкими численными значениями и формируются сочетания ближайших единиц.

Так как каждая строка представлена одним из образцов-аналогов, то выбираем наименьшее число в первой строке, которое представлено элементом  $c_{15} = 0,7$ . Далее выбираем минимальное значение элемента во второй строке, которое представлено элементом  $c_{25} = 1,02$ . Аналогичным образом выбираем следующие элементы:  $c_{34} = 0,78$ ;  $c_{43} = 0,78$ ;  $c_{51} = 0,7$  (рис. 1).

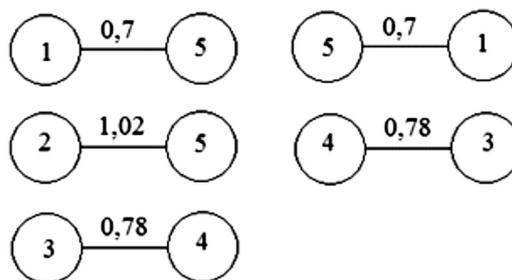


Рис. 1. Сочетания ближайших единиц

Замечено, что есть связи, встречающиеся на один раз, например, «1–5» и «5–1». Так как при построении дендрита очередность установления связей не играет роли, одно из повторяющихся сочетаний всегда исключается. Это приводит к тому, что остаются связи «1–5», «2–5» и «3–4», а связь «5–1» и «4–3» – отбрасываются. Для связей «1–5»

Таблица 2

Таблица расстояний

	1	2	3	4	5
1	0	1,18	1,85	1,78	0,7
2	1,18	0	1,72	1,41	1,02
3	1,85	1,72	0	0,78	1,87
4	1,78	1,41	0,78	0	1,07
5	0,7	1,02	1,87	1,07	0

Необходимо построить дендрит, в котором рассматриваемые двухбалочные краны представляются графически в виде кружочков (со вписанными в них порядковыми номерами аналогов), связанных отрезками.

и «2–5» характерно наличие единицы, обозначенной номером «5», поэтому эти связи можно объединить в один общий набор. Таким образом, получаются две отдельные конструкции, называемые скоплениями 1-го порядка (рис. 2).



Рис. 2. Скопления первого порядка

Связи скопления не отвечают основному условию дендрита, а потому что они не связаны в одно целое. В связи с этим процедура, которую надлежит теперь выполнить, заключается в нахождении наименьшего расстояния каждой единицы одного скопления от единиц остальных скоплений. Затем их этих расстояний выбирается наименьшее, которое становится связью, соединяющей отдельные скопления. Нахождение ближайших единиц между двумя скоплениями и объединение их в одно общее целое – последняя операция в данном методе.

Для установления базового образца была подобрана группа аналогов, состоящая из четырех подобных образцов. Ден-

дрит, построенный на исследуемых проектах-аналогах, дал наглядное представление о том, что по совокупности единичных показателей оцениваемый образец, обозначенный номером 1, кран мостовой электрический двухбалочный траверсный  $Q = 10$  т А7 превосходит базовые образцы.

#### Список литературы

1. Субетто А.И. Квалиметрия. – СПб.: Изд-во «Астерион», 2002. – 228 с.
2. Жетесова Г.С., Жунусова А.Ш. Основы квалиметрии: Учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2013. – 65 с.
3. Квалиметрия в машиностроении / Р.М. Хвастунов, А.Н. Феофанов, В.М. Корнеева. – М.: Изд-во «Экзамен», 2009. – 285 с.