

УДК 625.726551

В. С. Боровик, Е. Ю. Зайцева

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ПОДОБИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РАБОТ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Предложена модель определения точности критериев подобия при проектировании работ, связанных с совершенствованием организации дорожного строительства, учитывающая количественные, качественные и стоимостные характеристики.

К л ю ч е в ы е с л о в а: точность, подобие, критерий, проектные работы.

The model of determining the accuracy of the similarity criteria for the design work, that is associated with improving the organization of road construction, is taken into account the quantitative, qualitative and cost characteristics.

К e y w o r d s: accuracy, similarity, criteria, design work.

Количественная оценка эффективности реализации того или иного проекта, связанного с совершенствованием организации дорожного строительства, базирующаяся на обоснованной системе показателей, является чрезвычайно актуальной задачей [1]. Для ее решения необходима информация, связанная как с затратами на приведение объекта в планируемое состояние, так и с результатами приведения объекта в это состояние.

Для получения такой информации целесообразно использовать теорию подобия, когда единичный объект выделяется из группы объектов, подчиняющихся одному и тому же уравнению связи, присоединением к нему условий однозначности. Для объектов-предприятий, если входящие в условия однозначности величины однозначны, очевидно, эти величины должны быть подобны. Реально существующие объекты должны иметь одинаковые критерии, в том числе и составленные из однозначных. Двух этих признаков достаточно, чтобы считать объекты подобными [2, 3].

Для определения критериев подобия при проектировании системы организации дорожных работ необходимо выявить число определяющих параметров, которые характеризуют исследуемый объект, составить матрицы размерностей каждого параметра, установить число независимых между собой параметров, представить описание исследуемого объекта в критериальной форме, записать выражения критериев подобия. Такой подход позволяет решать задачи определения подобия объектов, сравнивая не множество определяющих параметров, а множество критериев, размерность которых меньше, чем размерность множества определяющих параметров.

Укажем на основные требования, которым должны удовлетворять подобные объекты:

1. Все подобные объекты должны характеризоваться одной и той же матрицей геометрических, экономических и физических параметров, например X_1, X_2, X_3 , и затратами на внедрение системы организации дорожных работ Y , т.е. строкой (Y, X_1, X_2, X_3) .

2. Все подобные объекты должны быть геометрически подобны.

3. Одноименные параметры подобных объектов должны быть связаны линейным преобразованием:

$$y_2 = k_y y_1; \quad x_1^{(2)} = k_{x_1} x_1; \quad x_2^{(2)} = k_{x_2} x_2; \quad x_3^{(2)} = k_{x_3} x_3,$$

где k_{x_i} — координаты подобия, определяющие изменения «масштаба» при переходе от модели к проектируемому объекту.

4. Все параметры (y, x_1, x_2, x_3) подобных объектов должны удовлетворять одному и тому же уравнению связи. Как показано в работах по теории подобия, например [2, 3], большинство производственных процессов можно удовлетворительно описать функцией вида

$$y = C \prod_{j=1}^n X_j^{\alpha_j}, \quad (1)$$

где C — коэффициент, учитывающий совокупное влияние факторов, не нашедших отражение в модели; X_j — параметры модели; α_j — показатель степени, характеризующий меру влияния X_j на Y .

Выбор в качестве уравнения связи функции (1) обусловлен сравнительной легкостью ее получения и оценки. Кроме того, уравнения, устанавливающие степенную зависимость между величинами, обладают свойством гомогенности [2].

5. Все технологические процессы в подобных объектах должны быть близки по качеству, т.е. должны применяться машины одной или близкой производительности с одинаковыми эксплуатационными затратами. Это обеспечит равенство $\forall \alpha_j$ в уравнениях связи в подобных объектах.

6. При составлении уравнения связи для моделируемого объекта следует так выбирать статистику, чтобы возможные значения параметров подобных объектов укладывались в нее (были бы ее подмножеством). Этого можно достичь увеличением размаха варьирования значений параметров.

Покажем на примере оценку возможных затрат при проведении работ на подобных объектах. Пусть уравнение связи для модели имеет вид

$$y_m = C_m x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} x_3^{\alpha_3}, \quad (2),$$

где смысл параметров y, x_1, x_2, x_3 указан в п. 1.

Согласно п. 3, нам известны коэффициенты подобия $k_{x_1}, k_{x_2}, k_{x_3}$, связывающие параметры модели и подобного объекта. Остается определить k_y . Покажем, как это можно сделать. Согласно п. 3 и 5, из уравнения (2) получаем при подстановке линейных функций (здесь y_n — затраты на работы в подобном объекте):

$$y_n = C_m (k_{x_1} x_1)^{\alpha_1} (k_{x_2} x_2)^{\alpha_2} (k_{x_3} x_3)^{\alpha_3} = k_{x_1}^{\alpha_1} k_{x_2}^{\alpha_2} k_{x_3}^{\alpha_3} C_m x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} x_3^{\alpha_3} = k_y y_m.$$

Здесь коэффициент подобия затрат k_y находится как произведение:

$$k_y = k_{x_1}^{\alpha_1} k_{x_2}^{\alpha_2} k_{x_3}^{\alpha_3}.$$

Следовательно, зная затраты для модельного объекта, можно легко определить затраты для подобного объекта по формуле $y_n = k_y y_m$, что и является целью наших рассуждений.

Проведем численные расчеты. Пусть для модели значения параметров будут:

$$x_1=1; x_2=7; x_3=100 \text{ у.е.};$$

$$\alpha_1=1,1; \quad \alpha_2=1,3; \quad \alpha_3=1,5; \quad k_{x_1}=2; \quad k_{x_2}=4; \quad k_{x_3}=1,5; \quad C_m=0,5.$$

Тогда по уравнению связи

$$y_m = 0,5 \cdot 1^{1,1} \cdot 7^{1,3} \cdot 100^{1,5} = 0,5 \cdot 1 \cdot 12,55 \cdot 1000 = 6275 \text{ (у.е.)}.$$

Коэффициент подобия затрат:

$$k_y = k_{x_1}^{\alpha_1} k_{x_2}^{\alpha_2} k_{x_3}^{\alpha_3} = 2^{1,1} \cdot 4^{1,3} \cdot 1,6^{1,5} = 2,1 \cdot 6,06 \cdot 2 = 25,45.$$

Следовательно, возможные затраты для подобного объекта будут:

$$y_n = k_y y_m = 25,45 \cdot 6275 = 159698,8 \text{ (у.е.)}.$$

Проведя подобные несложные расчеты для всех подобных объектов, можно, исходя из экономических возможностей, ранжировать дорожно-строительные работы заранее, оценив возможные затраты.

Найдем точность определения параметров. Пусть уравнение связи модели имеет вид:

$$y_m = C_m x_{1m}^{\alpha_1} x_{2m}^{\alpha_2} x_{3m}^{\alpha_3} = \left(\sqrt[3]{C_m} x_{1m}^{\alpha_1} \right) \left(\sqrt[3]{C_m} x_{2m}^{\alpha_2} \right) \left(\sqrt[3]{C_m} x_{3m}^{\alpha_3} \right), \quad (3)$$

где x_{im} , α_i ($i=\overline{1,3}$) — соответственно параметры уравнения связи и показатели, характеризующие вклад принятых к рассмотрению параметров; C_m — коэффициент, характеризующий параметры, не учтенные моделью.

Определим максимальную ошибку уравнения связи модели ε_m :

$$\varepsilon_m = \max_i \Delta y = \max_i \left(y_{\phi i} - y_{mi} \right),$$

где y_{mi} получается из (3) при соответствующих значениях x_{1m}, x_{2m}, x_{3m} (находятся в статистической таблице в строке для ε_m).

Примем, что «вклад» каждого множителя уравнения связи (3) в ошибку ε зависит от величины x_{im} и α_i , что очевидно.

Обозначим «долю» каждого фактора x_i ($i=\overline{1,3}$) в формировании ε_m через β_i ($i=\overline{1,3}$), где $\beta_i = \beta_i(x_{im}, \alpha_i)$, т.е.

$$\beta_i = \frac{\sqrt[3]{C_m} x_{1m}^{\alpha_1}}{\sqrt[3]{C_m} x_{1m}^{\alpha_1} + \sqrt[3]{C_m} x_{2m}^{\alpha_2} + \sqrt[3]{C_m} x_{3m}^{\alpha_3}} = \frac{x_{1m}^{\alpha_1}}{x_{1m}^{\alpha_1} + x_{2m}^{\alpha_2} + x_{3m}^{\alpha_3}} = \frac{x_{1m}^{\alpha_1}}{\sum_{j=1}^3 x_{jm}^{\alpha_j}}.$$

Аналогично

$$\beta_2 = \frac{x_{2M}^{\alpha_2}}{\sum_{j=1}^3 x_{jM}^{\alpha_j}}; \beta_3 = \frac{x_{3M}^{\alpha_3}}{\sum_{j=1}^3 x_{jM}^{\alpha_j}}. \quad (4)$$

Пусть $\gamma_{iM} = \gamma_{iM}(\beta_i, x_{iM}^{\alpha_i})$ — абсолютная величина «вклада» i -го параметра связи в ε . Отсюда следует, что:

$$\varepsilon_M = \sum_{i=1}^3 \gamma_{iM} = \gamma_{1M} + \gamma_{2M} + \gamma_{3M} = \beta_1 \varepsilon + \beta_2 \varepsilon + \beta_3 \varepsilon = \varepsilon \sum_{i=1}^3 \beta_i \quad (\text{т.к. } \sum_{i=1}^3 \beta_i = 1).$$

Пусть коэффициенты подобия $K_{xi} (i = \overline{1,3})$. Коэффициент C_n уравнения связи исследуемого объекта $C_n = C_M k_{x_1}^{\alpha_1} k_{x_2}^{\alpha_2} k_{x_3}^{\alpha_3}$, т.к. все подобные объекты должны характеризоваться одной и той же матрицей геометрических, экономических и физических параметров, например количеством членов коллектива X_1 , качественными характеристиками X_2 , характером деятельности X_3 , затратами на мотивационные мероприятия Y , т.е. строкой (Y, X_1, X_2, X_3) .

$$\text{Отсюда } \frac{C_n}{C_M} = k_{x_1}^{\alpha_1} k_{x_2}^{\alpha_2} k_{x_3}^{\alpha_3}.$$

Абсолютная величина максимальной ошибки уравнения связи для последнего объекта будет определяться выражением (используем формулы (4))

$$\varepsilon_{n,\max} = \varepsilon_{M,\max} \sqrt[3]{k_{x_1}^{\alpha_1} k_{x_2}^{\alpha_2} k_{x_3}^{\alpha_3}}. \quad (5)$$

$$\text{Пусть } \varepsilon_{M,\max} = \max_i (y_{\phi i} - y_{mi}) = 10 \text{ (у.е.)},$$

$$k_{x_1} = 1,1; k_{x_2} = 44; k_{x_3} = 1,5; \alpha_1 = 1,2; \alpha_2 = 0,9; \alpha_3 = 1.$$

Тогда для исследуемой модели (по формуле (5)):

$$\varepsilon_{n,\max} = 10 \sqrt[3]{1,1^{1,2} \cdot 4^{0,9} \cdot 1,5^1} = 10 \sqrt[3]{5,8} = 10 \cdot 1,8 = 18,1 \text{ (у.е.)}.$$

С учетом максимальной ошибки уравнение связи для исследуемого объекта и модели примет вид:

$$y_M = C_M \prod_{j=1}^3 x_{jM}^{\alpha_j} + \varepsilon_{M,\max};$$

$$y_n = \prod_{i=1}^3 k_{x_i}^{\alpha_i} C_M \prod_{j=1}^3 x_{jM}^{\alpha_j} + \varepsilon_{M,\max} \sqrt[3]{k_{x_1}^{\alpha_1} k_{x_2}^{\alpha_2} k_{x_3}^{\alpha_3}}. \quad (6)$$

Следует отметить, что значения y_M и y_n , полученные по формулам (6), являются максимально возможными, что позволяет, исследуя модель, указать предельные значения y_n , что, на наш взгляд, является залогом точности решения задачи определения затрат на совершенствование организации дорожного строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Боровик В.С.* Управление дорожно-строительным производством в условиях инновационного развития. Волгоград : ВолгГАСУ, 2008.
2. *Антонов А.В.* Системный анализ. М. : Высшая школа, 2004.
3. *Кирпичев М.В.* Теория подобия // Теория подобия и тепловое моделирование. М. : Наука, 1987.
4. *Антонов А.В.* Об одном методе проверки однородности информации в случае параметрического оценивания характеристик надежности // Надежность и контроль качества. 1993. № 10. С. 20—32.

1. *Borovik V.S.* Upravlenie dorozhno-stroitel'ny'm proizvodstvom v usloviyakh innivatsionnogo razvitiya. Volgograd : BolgGASU. 2008.
2. *Antonov A.V.* Sistemny analiz. M. : Vysshya shkola, 2004.
3. *Kirpichev M.V.* Teoriya podobiya // Teoriya podobiya i teplovoe modelirovanie. M. : Nauka, 1987.
4. *Antonov A.V.* Ob odnom metode proverki odnorodnosti informatsii v sluchae parametricheskogo otsenivaniya kharakteristik nadezhnosti // Nadeznost i kontrol kachestva. 1993. № 10. S. 20—32.

© Боровик В.С., Зайцева Е.Ю., 2011

Поступила в редакцию
в октябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Боровик В.С., Зайцева Е.Ю. Оценка точности определения критериев подобия при проектировании работ по организации дорожного строительства // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 3(17). Режим доступа: www.vestnik.vgasu.ru.