УДК 69.05

© А. А. Лapidус, д-р техн. наук, профессор
© Я. В. Шестерикова, старший преподаватель
(Московский государственный строительный
университет)
E-mail: lapidus58@mail.ru, jana.shesterikova@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-1-90-93

© A. A. Lapidus, Dr. Sci. Tech., Professor
© Ya. V. Shesterikova, senior teacher
(Moscow State Construction University)
E-mail: lapidus58@mail.ru, jana.shesterikova@yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

FORMATION OF POTENTIAL OF THE COMPLEX QUALITY INDEX IN CONSTRUCTION

Сделано обобщение подхода к формированию комплексного показателя качества в строительстве. Построена факторная матрица, с помощью которой определена наиболее значимая группа параметров, наибольшим образом оказывающих влияние на комплексный показатель качества в строительстве. Построена математическая модель на основе регрессионной зависимости.

Ключевые слова: комплексный показатель качества в строительстве, корреляционные связи, потенциал комплексного показателя качества в строительстве, факторная матрица, экспертные исследования, математическая модель.

The article presents a generalization of the approach to the formation of the complex quality index potential in construction. There has been constructed a factor matrix which is used for determination of the most significant group of parameters having the biggest impact on the complex quality index potential. A mathematical model based on regression dependencies has been constructed.

Keywords: complex quality index in construction, correlation links, complex quality index potential in construction, factor matrix, expert studies, mathematical model.

На сегодняшний день существует достаточно много инструментов, позволяющих контролировать те или иные параметры изыскательской, проектной и строительной деятельности при строительстве объектов. Однако ни один из существующих методов не позволяет получить всеобъемлющую, объективную картину, учитывающую состояние проекта на всех этапах его реализации, выражающуюся комплексным показателем качества. Необходимость формирования комплексного показателя качества обоснована в работах, опубликованных авторами ранее [1–8].

При помощи проведения экспертных исследований выделены наиболее значимые восемь параметров строительства [6]. Для оценки качества строительства при различном их сочетании надо осуществить строительство 26 244 объектов.

С учетом трудностей, связанных со строительным производством, осуществление подобного плана невозможно.

При помощи методологии факторного анализа, а также применения близких по свойствам D-оптимальных планов при построении матрицы планирования, уменьшаем количество факторов [6, 8, 9].

Цель факторного анализа состоит в сокращении числа переменных для определения структуры взаимосвязи между ними. Материалами для факторного анализа служат корреляционные связи, коэффициенты корреляции Пирсона, которые вычисляются между переменными факторами [10–13].

А. Ю. Бережный в своей работе «Зависимость комплексного показателя экологической нагрузки от организационно-технологических решений при оценке воздействия строительства на окружающую среду» отразил, что если обо-

значить один фактор через x_1 , а другой через x_2 , и число опытов, в которых они будут измеряться, — через N , где u — номер опыта, то коэффициент парной корреляции r рассчитывается по формуле [4]

$$r_{y_1 y_2} = \frac{\sum_{u=1}^N (x_{1u} - \bar{x}_1)(x_{2u} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{u=1}^N (x_{1u} - \bar{x}_1)^2 \sum_{u=1}^N (x_{2u} - \bar{x}_2)^2}}, \quad (1)$$

где $\bar{x}_1 = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1u}}{N}$ и $\bar{x}_2 = \frac{\sum_{u=1}^N x_{2u}}{N}$.

Согласно [14, 15], если коэффициент r между факторами равен нулю, то эти факторы независимы друг от друга, при коэффициентах корреляции от 0,3 до 0,4 — слабая корреляция (зависимость), при $r = 0,5-0,75$ — хорошая корреляция, при $r = 0,8-0,95$ — очень хорошая корреляция, а $r = 1$ означает, что зависимость носит детерминированный характер [9].

Далее составлена матрица интеркорреляций для отобранных и рассмотренных авторами восьми параметров:

- градостроительный план земельного участка (ГПЗУ), в котором отражена вся исчерпывающая информация (P1);
- технические условия на все объекты (P2);
- достоверный и полный объем материалов, включающий все разделы по инженерным изысканиям (отчеты об инженерно-геодезических, об инженерно-геологических, инженерно-экологических, инженерно-гидрологических изысканиях и пр.) (P3);
- квалификационный состав, включающий специалистов с опытом работы и соответствующим уровнем квалификации (P4);
- использование современного оборудования с высокой точностью проведения всех операций и производительностью (P5);
- соблюдение соответствия проектных решений требованиям СП, ГОСТ и других нормативно-технических документов, действующих на момент проведения экспертизы (P6) [6];
- разработанные противопожарные мероприятия (P7);
- учет в проекте вертикального транспорта (P8);
- соблюдение последовательности работ (P9);
- наличие подъемных механизмов (P10);
- типы монтажа (P11).

По результатам проведенного анализа полученной матрицы интеркорреляций можно сделать вывод о силе корреляционных связей между выбранными параметрами.

Фактор x_1 имеет хорошую корреляцию с фактором x_6 , x_2 — с x_7 , x_5 — с x_8 , x_{10} — с x_{11} .

Таким образом, выделено четыре группы хорошо взаимоувязанных переменных (z_1, z_2, z_3, z_4), после чего эти группы переменных представлены в виде столбцов, а факторы в виде строк. При этом каждой группе в строке соответствует среднее значение коэффициента корреляции соответствующих факторов по этой группе. Тем самым, получили факторную матрицу.

Значимость каждой группы факторов определяется величиной дисперсии каждой группы факторов с учетом факторной нагрузки:

$$Dz_1 = 0,19147, Dz_2 = 0,242148, Dz_3 = 0,224855, Dz_4 = 0,1812.$$

Весовая характеристика $Y(z_i)$ показывает, какую долю дисперсии (объем информации) y в исходной матрице интеркорреляций составляет определенная группа z_i [9, 16–18]. Расчетные значения представлены в таблице.

Объединенные в четыре группы факторы заполняют $Y(z_i) = 0,19147 + 0,242148 + 0,224855 + 0,1812 = 0,839674$, или 84 % дисперсии показателей исходной матрицы.

По результатам исследований выявлено, что полученная четырехфакторная модель позволяет сократить число опытов в несколько раз по сравнению с одиннадцатифакторной моделью (требовалось проведение 26 244 опытов).

Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что наиболее значимой группой является z_2 , в которую вошли факторы, отвечающие за технические условия на все объекты, и разработанные противопожарные мероприятия. Значение групп z_1, z_3, z_4 также существенно, но

Расчетные значения

	Дисперсия группы	Весовая характеристика группы
Группа z_1	0,1914	0,0239
Группа z_2	0,2421	0,0303
Группа z_3	0,2248	0,0281
Группа z_4	0,1812	0,0227

оно менее весомо, как показывает проведенное исследование.

Необходимо отметить, что недостатком модели с компоновкой факторов в группы в отличие от модели с большим количеством факторов является утрата информации. В рамках проводимых исследований изучался объем потери информации, который составил незначимую величину. При этом модель позволяет уменьшить количество опытов, и в соответствии с этим дает возможность для анализа и получения практических результатов.

С помощью уравнений регрессии, которые позволяют аппроксимировать экспериментальные данные с учетом статистических параметров, можно определить зависимость между комплексным показателем качества и значениями влияющих факторов z_1, z_2, z_3, z_4 .

В качестве регрессионной модели авторы рассматривают линейную регрессионную модель, квадратичную и кубическую.

По результатам исследований определено, что наиболее удобной формой записи математической модели при проведении вычислений регрессионного анализа является уравнение в виде полинома второго порядка — регрессионной кривой единичного интегрального потенциала в зависимости от уровней варьирования групп факторов [5, 9].

В дальнейших исследованиях сформированная математическая модель является оптимальным решением для успешного прогнозирования и оценки влияния рассматриваемых нами факторов на комплексный показатель качества, а также для достижения повышения уровня качества строительного объекта, позволит вносить необходимые коррективы.

Библиографический список

1. Гусаков А. А., Богомолов Ю. М., Брехман А. И., Ваганян Г. А., Вайнштейн М. С. Системотехника строительства: энциклопедический словарь / под ред. А. А. Гусакова. 2-е изд., доп. и перераб. М.: АСВ, 2004. 320 с.
2. Гусаков А. А. Системотехника строительства. М.: Стройиздат, 1993. 368 с.
3. Липидус А. А., Бережный А. Ю. Управление качеством строительного объекта посредством оптимизации производственно-технологических модулей // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2010. № 12 (143). С. 36–38.
4. Липидус А. А., Говоруха П. А. Формирование факторов, характеризующих организационно-технологический потенциал устройства ограждающих конструкций // Научное обозрение. 2015. № 14. С. 389–393.
5. Липидус А. А., Шестерикова Я. В. Исследование комплексного показателя качества выполнения работ при возведении строительного объекта // Современная наука и инновации. 2017. № 3 (19). С. 128–132.
6. Липидус А. А., Шестерикова Я. В. Формирование инструмента оценки комплексного показателя качества в строительстве // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 1 (37). С. 90–93.
7. Липидус А. А., Абрамов И. Л. Системно-комплексный метод реализации строительных проектов // Наука и бизнес: пути развития. 2017. № 10 (76). С. 39–42.
8. Фельдман А. О. Оптимизация организационно-технологического потенциала строительного проекта, формируемого на основе информационных потоков // Технология и организация строительного производства. 2015. № 4–1. С. 54–55.
9. Бережный А. Ю. Зависимость комплексного показателя экологической нагрузки от организационно-технологических решений при оценке воздействия строительства на окружающую среду: дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 125 с.
10. Липидус А. А., Бережный А. Ю. Математическая модель оценки обобщенного показателя экологической нагрузки при возведении строительного объекта // Вестник МГСУ. 2012. № 2. С. 149–153.
11. Сайдаев Х. Л.-А. Организационно-управленческое моделирование комплексной оценки результативности строительных компаний. дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 125 с.
12. Joseph T. L. Ooi, Thao T. T. Le, Nai-Jia Lee. The impact of construction quality on house prices // Journal of Housing Economics. 2014. Dec. Vol. 26. Pp. 126–138.
13. de Wilde P., Coley D. The implications of a changing climate for buildings // Building and Environment. 2012. Sept. Vol. 55. Pp. 1–7.
14. Ефимов В. В. Статистические методы в управлении качеством. Ульяновск: УлГТУ, 2003. 134 с.
15. Froese T. M. The impact of emerging information technology on project management for construction // Automation in Construction. 2010. Aug. Vol. 19. No. 5. Pp. 531–538.
16. Липидус А. А. Организационное проектирование и управление крупномасштабными инвестиционными проектами. М.: Вокруг света, 1997. 224 с.
17. Липидус А. А. Формирование интегрального потенциала организационно-технологических реше-

ний посредством декомпозиции основных элементов строительного проекта // Вестник МГСУ. 2016. № 12. С. 114–123.

18. Chahal K. S., Emerson P. Quality control and quality assurance in building design and construction // Journal of the institution of engineers (India): architectural engineering division. 2007. Oct. Vol. 88. No. 29. Pp. 16–20.

References

1. Gusakov A. A., et al. *Sistemotekhnika stroitel'stva: ehntsiklopedicheskiy slovar'* [Systems engineering in construction: encyclopedic dictionary]. Ed. by Gusakov A. A. 2-nd ed., revised. Moscow, ASV Publ., 2004, 320 p.

2. Gusakov A. A. *Sistemotekhnika stroitel'stva: ehntsiklopedicheskiy slovar'* [Systems engineering in construction: encyclopedic dictionary]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1993, 368 p.

3. Lapidus A. A., Berezhnyy A. Yu. *Upravlenie kachestvom stroitel'nogo obekta posredstvom optimizatsii proizvodstvenno-tekhnologicheskikh module* [Control of construction facility quality by optimizing production and process modules]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka – Building materials, equipment, technologies of XXI century*, 2010, no. 12 (143), pp. 36–38.

4. Lapidus A. A., Govorukha P. A. *Formirovanie faktorov, kharakterizuyushchikh organizatsionno-tekhnologicheskiiy potentsial ustroystva ograzhdayushchikh konstruktsey* [Formation of factors characterizing the organizational and technological potential of the enclosing structure design]. *Nauchnoe obozrenie – Scientific review*, 2015, no. 14, pp. 389–393.

5. Lapidus A. A., Shesterikova Ya. V. *Issledovanie kompleksnogo pokazatelya kachestva vypolneniya rabot pri vozvedenii stroitel'nogo obekta* [Study of the integrated indicator of the work quality at construction of a facility]. *Sovremennaya nauka i innovatsii – Modern science and innovation*, 2017, no. 3 (19), pp. 128–132.

6. Lapidus A. A., Shesterikova Ya. V. *Formirovanie instrumenta otsenki kompleksnogo pokazatelya kachestva v stroitel'stve* [Forming the tool for evaluation of the integrated quality indicator in construction]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii – Systems. Methods. Technologies*, 2018, no. 1 (37), pp. 90–93.

7. Lapidus A. A., Abramov I. L. *Sistemno-kompleksnyi metod realizatsii stroitel'nykh projektov* [System-complex method of construction projects implementation]. *Nauka i biznes: puti razvitiya – Science and business: ways of development*, 2017, no. 10 (76), pp. 39–42.

8. Fel'dman A. O. *Optimizatsiya organizatsionno-tekhnologicheskogo potentsiala stroitel'nogo projekta, formiruemogo na osnove informatsionnykh potokov* [Optimization of organizational and technological

potential of the construction project based on information flows]. *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva – Technology and organization of construction production*, 2015, no. 4 (1), pp. 54–55.

9. Berezhnyy A. Yu. *Zavisimost' kompleksnogo pokazatelya ehkologicheskoy nagruzki ot organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy pri otsenke vozdeystviya stroitel'stva na okruzhayushchuyu sredu. Diss.kand. tekhn. nauk* [Dependence of the environmental load complex indicator of organizational and technological solutions in the assessment of the impact of construction on the environment. PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2012, 125 p.

10. Lapidus A. A., Berezhnyy A. Yu. *Matematicheskaya model' otsenki obobshchennogo pokazatelya ehkologicheskoy nagruzki pri vozvedenii stroitel'nogo obekta* [Mathematical model for estimating the environmental load composite index during construction of the building object]. *Vestnik MGSU – Bulletin of MGSU*, 2012, no. 2, pp. 149–153.

11. Saydaev Kh. L.-A. *Organizatsionno-upravlencheskoe modelirovanie kompleksnoy otsenki rezul'tativnosti stroitel'nykh kompaniy. Diss. kand. tekhn. nauk* [Organizational and management modeling for integrated performance assessment of construction companies]. Moscow, 2013, 125 p.

12. Joseph T. L. Ooi, Thao T. T. Le, Nai-Jia Lee. The impact of construction quality on house prices. *Journal of Housing Economics*, 2014, Dec., vol. 26, pp. 126–138.

13. De Wilde P., Coley D. Implications of a changing climate for buildings. *Building and Environment*, 2012, Sept., vol. 55, pp. 1–7.

14. Efimov V. V. *Statisticheskie metody v upravlenii kachestvom* [Statistical methods in quality management]. Ul'yanovsk, UIGTU Publ., 2003, 134 p.

15. Froese T. M. The impact of emerging information technology on project management for construction. *Automation in Construction*, 2010, Aug., vol. 19, no. 5, pp. 531–538.

16. Lapidus A. A. *Organizatsionnoe proektirovanie i upravlenie krupnomasshtabnymi investitsionnymi projektami* [Organizational design and management of large-scale investment projects]. Moscow, Vokrug sveta Publ., 1997, 224 p.

17. Lapidus A. A. *Formirovanie integral'nogo potentsiala organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy posredstvom dekompozitsii osnovnykh ehlementov stroitel'nogo projekta* [Formation of the integral potential of organizational and technological solutions through decomposition of the main elements of the construction project]. *Vestnik MGSU – Bulletin of MGSU*, 2016, no. 12, pp. 114–123.

18. Chahal K. S., Emerson P. Quality control and quality assurance in building design and construction. *Journal of the institution of engineers (India): architectural engineering division*, 2007, Oct., vol. 88, no. 29, pp. 16–20.