

Технология и организация строительного производства

УДК 69.05(07)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УРОВЕНЬ КАЧЕСТВА ВОЗВЕДЕНИЯ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

А.Х. Байбурин

RESEARCH OF TECHNOLOGY FACILITATION INFLUENCE ON THE QUALITY LEVEL OF CIVIL BUILDING

A.K. Baiburin

При помощи корреляционно-регрессионного анализа установлены зависимости между организационно-технологическими факторами и показателями качества возведения гражданских зданий. На этой основе предложен алгоритм разработки мероприятий, повышающих качество возводимых конструкций зданий.

Ключевые слова: технологический фактор, показатель качества, регрессионная модель.

Using the correlated regression analysis the rules of interdependence between organizational technology facilitation factors and quality coefficient of civil building were established. On this basis the algorithm of elaboration measures that upgrade the quality of buildings was offered.

Keywords: technology facilitation, quality index, regression model.

Разработка и реализация мероприятий, повышающих качество возводимых конструкций гражданских зданий, должны основываться на научно установленных и статистически значимых взаимосвязях организационно-технологических факторов с показателями качества. Причем сами факторы следует ранжировать по степени влияния на качество для выбора наиболее существенных. Кроме того, технологические факторы должны иметь количественное выражение и однозначно определяться в каждом конкретном случае.

Установление перечня факторов, наиболее существенно влияющих на качество строительства, осуществлялось методом двухтурового экспертного опроса. Для повышения согласованности экспертных оценок среди специалистов строительных организаций, проходивших обучение на лицензионных курсах повышения квалификации, были отобраны 63 эксперта с высшим образованием на руководящих должностях. Стаж работы экспертов в области строительства составлял от 5 до 36 лет, в среднем 18,5 лет.

На первом этапе экспертами был определен набор из 19 факторов, оказывающих влияние на качество строительства. На втором этапе экспертами производилось ранжирование факторов с выделением наиболее существенных. Согласованность мнений экспертов оценивалась по коэффициенту конкордации. При количестве признаков $n = 19$,

числе экспертов $m = 63$ и коэффициенте конкордации, равном 0,225 на уровне значимости 0,01 условие $m(n-1)W = 63(19-1)0,225 = 255,15 \geq \chi_{0,01(18)}^2 = 34,805$ выполняется, что свидетельствует о согласованности мнений экспертов с вероятностью не менее 0,99 и статистической значимости ранжировки факторов.

Наиболее высокие ранги получены для следующих технологических факторов, указанных в порядке убывания значимости: соблюдение технологии работ - T_p ; качество поставляемых материалов, изделий - K_m ; уровень квалификации рабочих и инженеров - Y_k ; комплектность и качество проектной документации - D_n ; полнота производственного контроля качества (входного, операционного, приемочного, лабораторного, геодезического) - P_k ; комплектность и качество технологической документации - D_t ; обеспеченность механизмами, оснасткой и инструментом - Y_u .

Факторы должны отвечать ряду условий квалиметрии: однозначность, количественность, приемлемая трудоемкость определения. Для вычисления каждого показателя предложены соответствующие выражения. Например, показатель соблюдения технологии работ

$$T_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{t_i}{t_{ni}} \right), \quad (1)$$

где t_i - количество нарушений технологии работ i -го вида; $t_{нi}$ - количество параметров и режимов технологии, проконтролированное при ведении работ i -го вида; n - количество видов работ.

Показатель уровня квалификации рабочих и инженерно-технических работников (ИТР) предлагается вычислять следующим образом:

$$Y_k = v_1 \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{P_{нi}} + v_2 \sum_{j=1}^k a_j, \quad (2)$$

где P_i - среднеарифметический разряд рабочих, фактически занятых на работах i -го вида; $P_{нi}$ - нормативный среднеарифметический разряд для выполнения i -го вида работ; n - количество видов работ; a_j - средний балл по аттестации ИТР; k - количество ИТР v_1, v_2 - коэффициенты весомости.

Показатель полноты производственного контроля качества

$$\Pi_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{k_{нi}}, \quad (3)$$

где k_i - количество фактически проконтролированных параметров i -го вида работ; $k_{нi}$ - объемы контроля i -го вида работ по требованиям нормативно-технической документации; n - количество видов работ.

Для установления взаимосвязи между технологическими факторами и уровнем качества возведения объектов была исследована выборка из 30 гражданских зданий: по 10 панельных, кирпичных и монолитных. Уровень качества характеризовался показателем изменения несущей способности K_R основной несущей конструкции в результате допущенных дефектов, а также коэффициентом вариации несущей способности $V(R)$. Указанные показатели рассматривались в качестве откликов. Для панельных зданий исследовалось влияние факторов на прочность платформенных стыков. В кирпичных зданиях в качестве основных несущих конструкций рассматривались кирпичные стены и столбы, в монолитных - монолитные колонны и стены.

Условием применения в корреляционно-регрессионном анализе уравнений линейного вида является нормальное распределение влияющих факторов и отклика. Использование методов ли-

нейной регрессии оправдано закономерностями изучаемых явлений, имеющих теоретический смысл и практическое подтверждение. Оценка нормальности распределения показателей факторов производилась по асимметрии (мере скошенности) и эксцессу (мере островершинности), а также их стандартным ошибкам. Установлено, что значения асимметрии и эксцесса лежат в пределах своих двукратных стандартных ошибок, что дает основание предполагать нормальность изучаемых распределений [1]. Результаты оценки аппроксимации статистическими критериями Колмогорова и Пирсона также подтвердили гипотезу о нормальности распределений.

В результате количественной оценки тесноты связи между технологическими факторами и уровнем качества возведенных конструкций были получены коэффициенты парной корреляции (см. таблицу).

Анализ установленных коэффициентов корреляции показал:

1) с увеличением численных значений показателей технологических факторов увеличивается относительный показатель несущей способности возводимых конструкций K_R и снижается вариация прочности $V(R)$;

2) для показателей комплектности и качества проектной D_n и технологической документации D_t наличие связи с результирующими признаками не выявлено;

3) для остальных рассматриваемых факторов наблюдается статистически значимая на уровне 0,05 парная корреляция с показателями качества.

При дальнейшем анализе закономерностей влияния технологических факторов на уровень качества были рассчитаны параметры уравнений регрессии различных видов. Осуществлялась проверка значимости параметров уравнения каждого вида по критерию Стьюдента, а также значимость регрессии в целом по критерию Фишера на уровне 0,05.

Анализ результатов аппроксимаций выявил наибольшую значимость критериальных оценок параметров уравнения и регрессии в целом для прямолинейной регрессии вида $y = a_0 + a_1x$. Для изучаемых закономерностей влияния технологических факторов на показатели качества были получены следующие значимые уравнения регрессии:

Коэффициенты парной корреляции

| Показатели качества | Показатели технологических факторов | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|
| | T_p | Π_k | K_m | Y_k | D_n | D_t | Y_m |
| K_R | 0,790 | 0,800 | 0,844 | 0,790 | 0,018* | 0,207* | 0,808 |
| $V(R)$ | -0,842 | -0,857 | -0,896 | -0,745 | -0,127* | -0,297* | -0,785 |

Примечание. Звездочкой обозначены статистически незначимые на уровне 0,05 коэффициенты корреляции.

$$\begin{aligned}
 K_R &= -0,4954 + 2,0210 T_p, \\
 V(R) &= 0,6533 - 0,6470 T_p; \\
 K_R &= -0,4034 + 1,8266 \Pi_k, \\
 V(R) &= 0,6268 - 0,5888 \Pi_k; \\
 K_R &= -0,0594 + 1,6582 K_m, \\
 V(R) &= 0,5149 - 0,5328 K_m; \\
 K_R &= -0,4145 + 1,6118 Y_k, \\
 V(R) &= 0,6257 - 0,5140 Y_k; \\
 K_R &= -0,3468 + 1,4811 U_m, \\
 V(R) &= 0,5703 - 0,4334 U_m.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

По каждому уравнению регрессии рассчитывались значения стандартного отклонения, стандартная ошибка, значение F-критерия и уровень значимости. Установлено, что найденные регрессионные модели надежно и адекватно описывают наблюдаемые закономерности, ошибка аппроксимации составляет 3-10 %.

Вместе с тем окончательный вывод о достоверности изучаемых взаимосвязей можно сделать только при анализе множественной корреляции и регрессии, так как анализ парной корреляции исходит из допущения элиминирования (исключения) влияния всех остальных рассматриваемых факторов, что может исказить результаты парных зависимостей [2].

На первом этапе регрессионного анализа в модель множественной регрессии включались все факториальные признаки. Последующий анализ проводился методом пошаговой регрессии. При этом малозначимые факторы последовательно исключались из модели. В результате были получены окончательные линейные модели, включающие только значимые факторы:

$$\begin{aligned}
 K_R &= -0,5786 + 0,5531 T_p + 0,5077 \Pi_k + \\
 &+ 0,4661 K_m + 0,2326 Y_k + 0,3171 U_m;
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 V(R) &= 0,6416 - 0,1820 T_p - 0,2365 \Pi_k - \\
 &- 0,2398 K_m.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Проверка корректности частных эффектов по F -критерию дала положительные результаты. Адекватность моделей в целом была подтверждена критерием Фишера. При этом коэффициент множественной корреляции $R = 0,925-0,979$ свидетельствует о существенной связи переменных в уравнениях. Коэффициент детерминации $D = 0,839-0,95$ показывает, что до 84–95 % разброса отклика объясняется вариацией влияющих факторов.

Исследования остатков в виде разности между наблюдаемыми и предсказанными значениями отклика подтвердили вывод об адекватности полученных моделей. По диаграмме разброса, гистограмме и графику остатков на нормальной вероятностной бумаге установлено, что значения остатков случайны, независимы от значений отклика и распределены нормально. Таким образом, полученные

модели регрессии с высокой значимостью и надежностью описывают исследуемые закономерности в пределах исследованной выборки объектов.

Удельный вес каждого фактора, входящего в полученные уравнения множественной регрессии, определялся по значению коэффициента эластичности:

$$E_i = a_i \bar{x}_i / \bar{y},
 \tag{7}$$

где a_i - коэффициент регрессии при i -м факториальном признаке; \bar{x}_i - среднее значение i -го факториального признака; \bar{y} - среднее значение отклика.

Установлено, что наибольшее влияние на показатель изменения прочности K_R возводимых конструкций оказывают факторы соблюдения технологии работ ($E_1 = 0,418$), полноты производственного контроля качества ($E_2 = 0,397$) и качества поставляемых материалов, изделий ($E_3 = 0,299$), а на показатель изменчивости прочности $V(R)$ - полноты производственного контроля качества ($E_2 = 0,903$) и качества поставляемых материалов, изделий ($E_3 = 0,751$).

При наличии двух моделей множественной регрессии, описывающих взаимосвязи технологических факторов с показателями качества, появляется возможность управления качеством возведения зданий через зависимость, полученную из условия обеспеченности показателя несущей способности конструкции. Так для каменных конструкций из условия нормативной обеспеченности прочности на сжатие было получено [3]

$$u = \frac{\bar{K}_R^\Phi - K_R^{\text{lim}}}{V(R) \cdot K_R^\Phi} = 3,33.
 \tag{8}$$

Здесь аргумент функции стандартного нормального распределения $\Phi(u)$ задан из условия нормального распределения значений K_R и нормативной обеспеченности его значения 0,9996. Подставив в (8) вместо статистических показателей их регрессионные модели (5) и (6), получим

$$\begin{aligned}
 u &= \left[-0,5786 + 0,5531 T_p + 0,5077 \Pi_k + \right. \\
 &+ 0,4661 K_m + 0,2326 Y_k + 0,3171 U_m - \\
 &\left. - K_R^{\text{lim}} \right] : \left[(0,6416 - 0,1820 T_p - 0,2365 \Pi_k - \right. \\
 &- 0,2398 K_m)(-0,5786 + 0,5531 T_p + 0,5077 \Pi_k + \\
 &\left. + 0,4661 K_m + 0,2326 Y_k + 0,3171 U_m) \right].
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Влияние каждого фактора в выражении (9) оценивалось вычислением приращения результирующего значения u при равных незначительных приращениях каждого из факторов при средних значениях остальных факторов. Установлена следующая приоритетность технологических факторов по степени их совокупного влияния на уровень качества возведения зданий: полнота производст-



Блок-схема алгоритма оценки качества и принятия решений по обеспечению качества возводимых конструкций гражданских зданий

венного контроля качества (входного, операционного, приемочного, лабораторного, геодезического); соблюдение технологии работ; качество поставляемых материалов, изделий; обеспеченность механизмами, оснасткой и инструментом; уровень квалификации рабочих и ИТР.

При разработке перечня мероприятий, повышающих качество возводимых конструкций гражданских зданий, кроме коэффициентов значимости факторов учитывались их резервные значения $\Delta x_i = 1 - \bar{x}_i$. Резервы для каждого из вышеперечисленных факторов соответственно равны: 0,289, 0,263, 0,396, 0,158 и 0,13. Чем больше значение

резерва и выше приоритет фактора, тем значимее мероприятия, направленные на повышение соответствующего показателя фактора.

Блок-схема алгоритма реализации мероприятий по обеспечению качества возведения несущих конструкций гражданских зданий с учетом технологических факторов, представлена на рисунке.

На основе полученных результатов был разработан перечень возможных мероприятий, повышающих численные значения показателей технологических факторов. Из полного перечня в каждом конкретном случае следует использовать мероприятия, которые направлены на повышение

численных значений показателей технологических факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество возведения зданий.

Таким образом, методом экспертного опроса были выявлены наиболее значимые технологические факторы, существенно влияющие на качество работ: соблюдение технологии работ; качество поставляемых материалов, изделий; уровень квалификации рабочих и инженеров; уровень производственного контроля качества; обеспеченность механизмами, оснасткой и инструментом.

Для количественной оценки указанных факторов предложены показатели, характеризующие степень соответствия факторов установленному уровню. В исследованной выборке из 30 зданий определены показатели, характеризующие уровень факторов, а также показатели качества в виде снижения несущей способности основной несущей конструкции при допущенных дефектах и коэффициента вариации несущей способности.

При помощи корреляционно-регрессионного анализа установлены связи между технологическими факторами и указанными показателями качества возведения зданий. Разработан алгоритм реализации мероприятий по обеспечению качества возведения несущих конструкций гражданских зданий с учетом технологических факторов. Резуль-

таты моделирования могут быть использованы для повышения организационно-технологической надежности строительных работ по параметрам качества изготавливаемой продукции.

В результате внедрения разработанных методов при возведении объектов установлено снижение уровня дефектности до 25 %, (технический эффект), увеличение показателя надежности конструкций до 20 % (социальный эффект). Доля экономического эффекта от повышения качества строительства составила 7,6 %, эффект относительно сметной стоимости равен 1,54 %.

Литература

1. Айвазян, С.А. *Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных: справ, изд.* / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. — М.: Финансы и статистика, 1983. - 471 с.
2. Драйпер, Н. *Прикладной регрессионный анализ: в 2 кн.* / Н. Драйпер, Г. Смит. — М.: Финансы и статистика, 1986. - Кн. 1. — 366 с; 1987. — Кн. 2.-351 с.
3. Байбурин, А.Х. *Методика оценки качества возведения кирпичных зданий* /А.Х. Байбурин // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура».* - 2009. - Вып. 9.-№ 35(168). - С. 24-27.

Поступила в редакцию 19 января 2010 г.