

# ОЦЕНОЧНАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Баркалов С.А., Бекирова О.Н., Трифонова М.С.

Воронежский государственный технический университет

Россия, г. Воронеж ул. 20-летия Октября, дом 84

bekiron@mail.ru, marichterr@gmail.com

*Аннотация:* В исследовании предлагается методика определения комплексного показателя качества технологических процессов в строительстве. Реализация методики рассматривается на примере процесса производства земляных работ на участке, с применением статистических методов контроля качества и данных анализа приёмочного контроля работ.

Ключевые слова: строительство, контроль качества, управление проектами

## Введение

Одним из главных факторов опасности для инвестиционных проектов являются строительно-монтажные и эксплуатационные риски. В настоящее время наблюдается рост числа строительных аварий, причинами которых являются различного рода дефекты, использованные материалы, ошибки участников инвестиционно-строительного проекта и др. Большинство статистических методов анализа контроля качества основаны на однородности исследуемой совокупности, что связано с определёнными трудностями. Возникает необходимость предварительного статистического анализа результатов контроля с целью решения вопроса о случайности выборки и об отсутствии в ней резко выделяющихся наблюдений.

В статье предлагается использовать оценочные модели определения качества строительно-монтажных работ. Ориентация настоящего исследования на решение этих задач обуславливает актуальность темы как в связи с большой значимостью рассматриваемых проблем, так и с недостаточной степени их изученности.

Цель работы достигается применением статистических методов контроля качества продукции строительного производства и разработкой комплексного подхода к проведению оценки качества выполнения строительных работ на участке.

Объект исследования - организации и технологии строительного производства в условиях управления качеством строительно-монтажных работ (СМР).

## Определение комплексного показателя качества СМР на участке с использованием количественных индикаторов

Предлагаемый подход можно использовать с целью оценки качества любого технологического процесса строительства. Будем рассматривать производство земляных работ при разработке выемок и устройстве естественных оснований. Метод контроля данного технологического процесса - измерительный. Отклонения отметок дна выемок в точках измерения при нормальном ходе технологического процесса должны находиться в технических пределах, определяемых нормами.

Способность объекта удовлетворять потребности может быть представлено совокупностью его характеристик. Перечень показателей операционного контроля тех или иных строительных работ можно найти в СНиП и ГОСТ [1,2].

В таблице 1 представлено единое технологическое требование к показателям. Будем рассматривать  $x_i$  – количественные индикаторы (измеряемые показатели, которые характеризуют качество свойство качества СМР) и  $T_i$  – величина допустимого отклонения показателя от нормы.

Таблица 1. Показатели приёмочного контроля осушительных каналов

Показатели	T
Ось канала	+ - 20
Отметка канала	- 20
Продольный уклон дна	+ - 10%
Ширина канала по дну при проектных размерах от 0,6 до 1 м	+ 10%
Ширина канала по дну при проектных размерах от 1 до 2 м	+15%
Радиус поворота	+5%
Крутизна откоса (при проектных значениях от	+15%

Показатели	T
0,6 до 1м)	
Крутизна откоса (при проектных значениях от 1 до 2 м)	-10%
Ровность поверхности откоса	+10см

Индикаторы  $x_i$  можно отнести к свойству строительно-монтажных работ, которое характеризует точность их выполнения. Примем следующую зависимость качества производства СМР (К) от контролируемого показателя (x) в виде:

$$K = 1 - \frac{x}{T_1}, \text{ если } 0 \leq x \leq T_1, T_1 > 0; \quad (1)$$

$$K = 1 + \frac{x}{T_2}, \text{ если } 0 \leq x \leq T_2, T_2 > 0; \quad (2)$$

Воспользуемся данными измерений показателей приемочного контроля участка осушительного канала, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2. Показатели приемочного контроля осушительных каналов

Показатели (i = 1,2...10)	$x_i$	$T_i$
Ось канала	+10см	+20см
Отметка канала	-6см	-20см
Продольный уклон дна	+2%	+10%
Ширина канала по дну при проектных размерах от 0,6 до 1 м	+5%	+10%
Ширина канала по дну при проектных размерах от 1 до 2 м	+5%	+15%
Радиус поворота	+1%	+5%
Крутизна откоса (при проектных значениях от 0,6 до 1м)	+3%	+15%
Крутизна откоса (при проектных значениях от 1 до 2 м)	-4%	-10%
Ровность поверхности откоса	+4,4см	+10см

На основе формул (1) и (2) определим последовательность величин качества  $K_i = 1 - \frac{x_i}{T_i}$ . В результате были получены следующие значения:

$$K_1 = 1 - 10/20 = 0,50.$$

$$K_2 = 1 - 6/20 = 0,70.$$

$$K_3 = 1 - 2/10 = 0,80$$

$$K_4 = 1 - 5/10 = 0,50$$

$$K_5 = 1 - 5/15 = 0,66$$

$$K_6 = 1 - 1/5 = 0,80$$

$$K_7 = 1 - 3/15 = 0,80$$

$$K_8 = 1 - 4/10 = 0,60$$

$$K_9 = 1 - 4,4/10 = 0,56.$$

Примем на данном участке за качество производства СМР минимальное значение величины качества:

$$K_{СМР} = \min\{K_1, K_2, K_3 \dots K_9\}. \quad (3)$$

$$\text{Получим } K_{СМР} = 0,50.$$

Если объем контроля оговаривается для показателя и равен n, то сам показатель приобретает значения  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Тогда качество производства СМР (К) от контролируемого показателя (x) представляется в виде:

$$K_{СНип} = \min\{K_1, K_2, K_3 \dots K_n\} \quad (4)$$

где  $K_i$  - величина, определяемая по одной и той же зависимости качества производства СМР (К) от

$$K_{СНип} = 1 - \frac{x_{max}}{T_i}, \quad (5)$$

где  $x_{max}$  величина, максимально удаленная от начала координат.

Таким образом, если для каждого частного показателя качества произведено одно измерение, то используется расчет (4), где  $K_j$  величина частного значения качества. Определяется показатель  $x_k$  на котором реализовался минимум — это означает, что  $K$ -ое условие СНиП выполняется плохо.

Представленный пример определяет функцию результирующего качества в зависимости от всех произведенных измерений в виде определенных алгоритмов. Значение  $K$  меняется от 0 до 1. Максимальное значение 1 соответствует полному выполнению требований и нормативов работ. В случае появления недопустимого значения, показатель качества  $K$  близится к минимальному значению.

Определим комплексный показатель качества СМР с использованием  $n$  свойств, которые характеризуются единичными показателями качества  $K_1, K_2, \dots, K_n$  [3,4].

Используя метод анализа иерархий, представим комплексный показатель качества величиной, равной (6):

$$K = \alpha_1 K_1 + \alpha_2 K_2 + \dots + \alpha_n K_n; \quad (6)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n$$

где  $(\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n)$  - вектор приоритетов свойств качества продукции строительного производства ( $a_i \geq 0$ ).

Для его нахождения воспользуемся известным в литературе методом попарных сравнений. Установление относительной важности элементов будет осуществляться на основе шкалы отношений, представленных в таблице 3.

Таблица 3. Шкала степени значимости

Уровень степени значимости	Значение
1	Одинаковая значимость
3	Некоторое преобладание значимости одного действия над другим (слабая значимость)
5	Существенная или сильная значимость
7	Очевидная или очень сильная значимость
9	Абсолютная значимость
2,4,6,8	Промежуточные значения между двумя соседними суждениями => Ситуация, когда необходимо компромиссное решение
ОВ	Если действию $i$ при сравнении с действием $j$ присписывается одно из определённых выше ненулевых чисел, то действию $j$ при сравнении с действием $i$ присписывается обратное значение

Рассмотрим в общем виде пример формирования матрицы парных сравнений [5,6].

Примем, что оценка единичных показателей качества СМР будет осуществляться по трём критериям: точность ( $K_1$ ), надёжность ( $K_2$ ), экологичность ( $K_3$ ). Самым нижним уровнем иерархии являются компоненты вектора приоритетов  $a_{i=1,2,3}$ .

В нашем случае матрица будет обладать свойством обратной симметрии, где  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ , где  $a_{ij} = V_j/V_i$ .

Пусть  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  - множество из  $n$  элементов (альтернатив) и  $V_1, V_2, \dots, V_n$  - соответственно их веса. Сравним попарно вес, каждого элемента с весом, или любого другого элемента множества по отношению к общему для них свойству или цели (по отношению к элементу - родителю).

Для получения каждой матрицы эксперт выносит  $n(n-1)/2$  суждений (здесь  $n$  - порядок матрицы парных сравнений). Таким образом матрица парных сравнений  $[K]$  имеет вид (7).

$$K = \begin{matrix} & \begin{matrix} Q_1 & Q_2 & \dots & Q_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_n \end{matrix} & \begin{matrix} V_1/ & V_1/ & & V_1/ \\ V_1 & V_2 & & V_n \end{matrix} \end{matrix} \quad (7)$$

Правило заполнения матрицы:

Если элемент  $Q_1$  доминирует над элементом  $Q_2$ , то клетка матрицы, соответствующая строке  $Q_1$  и столбцу  $Q_2$ , заполняется целым числом, а клетка, соответствующая строке  $Q_2$  и столбцу  $Q_1$  заполняется обратным к нему числом. Если элемент  $Q_2$  доминирует над  $Q_1$ , то целое число ставится в клетку, соответствующую строке  $Q_2$  и столбцу  $Q_1$  а дробь проставляется в клетку, соответствующую строке  $Q_1$  и столбцу  $Q_2$ . Если элементы  $Q_1$  и  $Q_2$  равно предпочтительны, то в обе позиции матрицы ставятся единицы.

По расчетам матрица попарных сравнений производства СМР при возведении осушительных примет вид:

$$K = \begin{array}{c|ccc} & Q_1 & Q_2 & Q_3 \\ \hline Q_1 & 1/1 & 2/1 & 6/1 \\ \hline \end{array} \quad (8)$$

В результате расчетов были получены следующие величины компонентов вектора приоритетов:

$$A_i=1 = \alpha_1 = 0,6.$$

$$A_i=2 = \alpha_2 = 0,3.$$

$$A_i=3 = \alpha_3 = 0,1.$$

Таким образом, зная величины критериев  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $Q_3$ , комплексный показатель качества производства земляных работ ( $K$ ) можно выразить через единичные показатели качества по отдельным свойствам по формуле (6).

$Q_1$  - показатель свойства точности производства СМР найден с использованием количественных индикаторов (таблица 2).

$$Q_1 = \min\{K_1, K_2, K_3 \dots K_9\} = 0,50.$$

$Q_2$  – свойство надежности СМР. Предположим, что  $Q_2$  имеет два количественных индикатора: угол внутреннего трения ( $x_1$ ) и удельное сцепление грунта ( $x_2$ ). По результатам измерений  $x_1 = 0,8T_1$ ,  $x_2 = 0,3T_2$ . Основываясь на формулах (1) и (2), получим следующие величины:  $K_1 = 0,34$ .  $K_2 = 0,90$ .

$$\text{Величина единого показателя качества } Q_2 = \min\{0,34, 0,90\} = 0,34.$$

Аналогично получаем величину  $Q_3$  – свойство экологичности производства. Возьмем два количественных индикатора: П1 и П2 - соответственно, предельно допустимое содержание в грунте вредных примесей 1-го и 2-го вещества.

По результатам измерений  $x_1 = 0,4T_1$ ,  $x_2 = 0,2T_2$ . Основываясь на формулах (1) и (2), получим следующие величины:  $K_1 = 0,81$ .  $K_2 = 0,95$ .<sup>1</sup>

$$\text{Величина единого показателя качества } Q_3 = \min\{0,81, 0,95\} = 0,81.$$

Комплексный показатель качества (КПК) строительного производства, характеризующий несколько свойств выполнения СМР будет иметь величину, равную:

$$K = \alpha_1 K_1 + \alpha_2 K_2 + \dots + \alpha_n K_n = 0,6 * 0,50 + 0,3 * 0,34 + 0,1 * 0,81 = 0,3 + 0,102 + 0,081 = 0,483.$$

Если для некоторого признака  $x$  задаются границы  $0 \leq x \leq T_1$ , то можно задать частный критерий качества в виде  $K = 1 - \frac{x}{T_1}$ . Приведенная зависимость показывает, что максимальное значение

качества будет равно 1, которое достигается при идеальном выполнении СМР, минимальное значение качества равно 0, если измеренный показатель принимает недопустимую величину. Если на одном строительном объекте измеренное значение признака качества равно  $x = x_1$ , а на другом строительном объекте измеренное значение этого признака  $x_1 < x_2 < T_1$ , то из функций  $K_1 = 1 - \frac{x_1}{T_1}$

$K_2 = 1 - \frac{x_2}{T_2}$  следует  $K_1 > K_2$ , т.е. показатели качества упорядочены и это является весьма важным

обстоятельством, так как точное количественное значение параметра качества знать необязательно и его можно определять путем парного сравнения качества производства строительного-монтажных работ на сооружаемых объектах.

Полученный показатель имеет значение ниже среднего, что соответствует браковочному уровню качества, необходимы мероприятия по повышению точности технологических процессов, с целью достижения расчетных значений показателей и гарантированной прочности продукции.

Повышение точности может быть достигнуто заменой проектно-изыскательных работ, изменением и совершенствованием методов работ, оснастки, заменой поставщиков продукции, повышением квалификации исполнителей, усилением контроля и др.

## **Заключение**

В современных условиях управление качеством является составной частью всего процесса СМР в строительстве. Большинство статистических методов анализа контроля качества основаны на однородности исследуемой совокупности, что связано с определёнными трудностями. Возникает необходимость предварительного статистического анализа результатов контроля с целью решения вопроса о случайности выборки и об отсутствии в ней резко выделяющихся наблюдений.

Разработанные аналитические выражения представляют собой модель для оценки качества производства СМР на определённых объектах.

Рассмотренный пример акцентировал внимание универсальности подхода, возможности оценки качества объектов любой технологии строительства с применением показателей, специфичных для конкретного типа работ, а также частных критериев качества отдельных признаков.

## **Литература**

1. СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 (с Изменением N 1)
2. ГОСТ 4.221-82. Система показателей качества продукции. Строительство. Основные положения.
3. Баркалов С.А., Бекирова О.Н., Трифонова М.С., Комплексная оценка качества возведения гражданских зданий в условиях саморегулирования в сборнике: теория и практика экономики и предпринимательства. XVII Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция. Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского. Симферополь, 2020. С. 18-23.
4. Бекирова О.Н., Рогозина Е.А., Трифонова М.С. Влияние системы оценки качества на конкурентоспособность объектов жилой недвижимости / Материалы XVI Всероссийской школы-конференции молодых ученых – Тамбов, 2019.
5. Трифонова М. С. Применение математического моделирования в управлении конкурентоспособностью строительных объектов // Сборник «Управление инновационно-инвестиционной деятельностью предприятий и организаций». 2017. С. 100-102.
6. Баркалов С.А. Математические основы управления проектами. М.: «Высшая школа» 2005. - 423 с. (соавторы –В.И. Воропаев, Г.И. Секлетова).