

Байбурин А. Х.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ НЕДОСТАТКЕ ИНФОРМАЦИИ

*В статье предложен подход к оценке качества работ при недостатке информации. Недостаток информации может быть обусловлен малым количеством объектов контроля, признаков контролируемых объектов, недостатком значений признаков, а также малой уверенностью в признаках или значениях. Решение задачи позволяет при известном априори законе распределения случайной величины ограничиться малым объемом контрольной выборки без ущерба надежности решения. Подход использует теорию возможностей, как обобщение теории нечетких множеств Лотфи Заде. Предложены уточнения для назначения уровня риска решения методом теории возможностей. Рассмотрены решения двух задач с применением уточненной теоретической базы: задачи оценки уровня системы качества и оценки дефектности работ. Доказано, что при малых объемах выборки могут быть получены надежные решения при определении параметров нормального распределения и вероятности дефекта.*

**Ключевые слова:** информация, оценка качества, теория возможностей, нечеткие множества.

Baiburin A. Kh.

## ASSESSMENT OF THE CONSTRUCTION QUALITY UNDER THE INFORMATIVE INFORMATION

*The article offers an approach to assess the work quality if there is a lack of information. A lack of information may be preconditioned by a small number of control objects, features of controlled objects, lacking values of the features, as well as low confidence of the features or values. The solution of the problem allows us, at a known a priori law of the distribution of a random variable, to be limited by a small volume of the control sample without compromising the reliability of the solution. The approach uses Lotfi Zadeh's possibility theory as a generalization of the fuzzy set theory. It suggests specifications for assigning the solution risk level using the possibility theory. The solutions of two problems using the specified theoretical base are considered: the problem of assessing the quality system level and assessing the defectiveness of works. It is proved that at small sample volumes it is possible to obtain reliable solutions in determining the parameters of the normal distribution and the probability of defects.*

**Keywords:** information, quality control, possibility theory, fuzzy sets.

### Введение

Показатели качества, характеризующие признаки объекта или процесса, могут быть рассмотрены как информационные единицы. Информационная единица определяется четверкой: объект, признак, значение и уверенность [1, 2]. Поэтому недостаток информации при контроле и оценке качества может быть четырех видов: недостаточно объектов контроля; недостаточно признаков объекта; недостаточно значений признака; малая уверенность в признаках или значениях.

Все эти ситуации имеют место при оценке качества строительства. Неточность (относится к значению) и неопределенность (относится к уверенности) в силу объективных причин свойственна информации о качестве, особенно в строительной сфере. Поэтому в специальной литературе делаются попытки применить информационные методы для оценки качества строительных работ [3].

В виду производственных «шумов» (технологической изменчивости) и погрешностей контроля качество работ является ве-

роятностной категорией. Для управления качеством вероятностных объектов или процессов необходимо создать математическую модель объекта управления. Математическая модель в виде ряда соотношений, основанных на физических законах функционирования объекта управления, позволяет определить сигнал на выходе объекта управления при известных входных воздействиях и начальных состояниях [4, 5]. Математическая запись законов функционирования технологического процесса часто приводит к сложной системе нелинейных дифференциальных уравнений, связывающих входные и выходные переменные и их производные.

Рассматриваемые процессы подвержены «шумам», являются слабо формализуемыми системами и подчинены статистическим закономерностям. Стохастические процессы и их случайные параметры описываются законами распределения. Для установления закона распределения необходимо выполнить не менее 100–120 измерений, что весьма трудно.

В некоторых ситуациях контроля невозможно получить большую выборку данных, например:

- при испытаниях конструкций или инженерных систем;
- при контроле параметров малочисленных конструктивных элементов (например, в пределах одного этажа);
- при оценивании комплексных показателей, осредненных по малой выборке захваток, этажей, объектов;
- при контроле предельных значений параметров функции безопасности элементов конструкций;
- при экспертном методе оценки и малом числе экспертов.

### Предварительные замечания

При нестабильности параметров распределений в пределах этажей или захваток объединенная по зданию выборка, строго говоря, не может считаться однородной. Вместе с тем при малых выборках (при  $n < 10$  на этаж) вероятностные методы ограниченно применимы. С другой стороны, при известном априори законе распределения, можно ограничиться малым объемом выборки, делая выводы о генеральной совокупности в целом при минимальных затратах на контроль.

Расчеты безопасности конструкций оперируют с зонами на асимптотических «хвостах» распределений, для чего, с одной стороны, требуется большая выборка, а с другой стороны, крайние значения параметров, попадающие в асимптотические части распре-

делений, оказывают решающее влияние на вероятность отказа [6, 7]. С этой точки зрения контролировать надо, прежде всего, те элементы, которые имеют наибольшие отклонения от среднего. Поскольку нас интересует минимальная безопасность или наилучшее качество, при известном законе распределения можно проконтролировать лишь средние и минимальные значения.

Исходя из изложенного, для оценки качества необходимо использовать методы, позволяющие получать надежные решения при нечеткой исходной информации или ее недостатке. Эти методы основаны на нечетких множествах и теории возможностей Л. Заде, а также на теории идентификации по ограниченному данным [1, 2, 8–10].

### Применение теории возможностей

При недостатке данных контроля или испытаний задача оценки качества или безопасности может быть решена методом теории возможностей (нечетких множеств). В работах Уткина В.С. и Кошелевой Ж.В. [11, 12] рассматривается применение теории возможностей для оценки надежности конструкций в условиях ограниченной информации. При этом функцию распределения возможностей (рис. 1) рассматривают как «плотность» меры неопределенности и представляют в виде

$$\pi_x(x) = \exp \left\{ - \left( \frac{x_n - a}{b} \right)^2 \right\}, \quad (1)$$

а параметры функции принимают равными:

$$a = (x_{\max} + x_{\min}) / 2, \quad (2)$$

$$b = (x_{\max} - x_{\min}) / 2\sqrt{-\ln \alpha}, \quad (3)$$

где  $\alpha \in [0, 1]$  – уровень риска, принимаемый в зависимости от количества измерений или уровня системы качества.

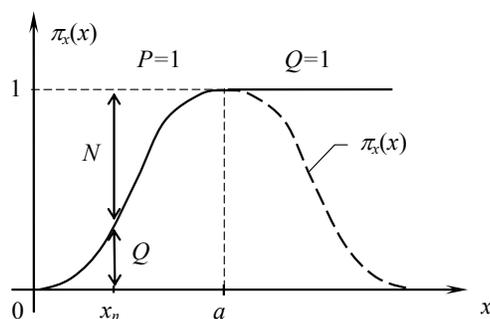


Рис. 1. Функция распределения возможностей

Чем больше уровень риска  $\alpha$ , тем больше разброс  $b$  и меньше функция (1). Аналогично

в статистике доверительный интервал среднего  $x \pm t_{1-\alpha,n} S / \sqrt{n}$  тем шире, чем больше уровень доверия  $1-\alpha$ .

В работе [12] уровень риска предлагается рассчитывать по формуле

$$\alpha = 0,894 - 0,339 \cdot \ln n \quad (4)$$

где  $n$  – количество измерений.

Значения  $\alpha$ , вычисленные по формуле (4), приведены ниже.

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\alpha$	0,66	0,52	0,42	0,35	0,29	0,23	0,19	0,15	0,11	0,08	0,05

Уже при  $n > 13$  значения риска становятся отрицательным, что не имеет смысла. Следовательно, формула (4) имеет ограниченную область применения. Ясно, что при увеличении  $n$  риск асимптотически стремиться к нулю, не достигая его. Для расчетов предлагается принимать  $\alpha = 0,05$  при  $n > 12$  и  $\alpha = 0,01$  при  $n > 100$ , а также связать этот риск с уровнем системы качества строительства  $K_{СК}$  отношением  $\alpha = 1 - K_{СК}$ , так как чем выше  $K_{СК}$  тем меньше риск ошибки.

При  $a > x_n$  возможность бездефектности при ограничении параметра снизу  $P = 1$ . При этом возможность дефектности  $Q = \pi_x(x)$ . Необходимость бездефектности  $N = 1 - \pi_x(x)$ , интервал бездефектности  $[N, 1]$ . Рассмотрим решение двух задач оценки качества с применением уточненной теоретической базы.

#### Задача оценки уровня системы качества

Рассмотрим задачу оценки уровня системы качества строительной организации тремя экспертами. Оценки экспертов: 0,74, 0,73 и 0,71 – будем сравнивать с оценочными значениями 0,75...0,85, делящими область качества на три зоны: высокое, удовлетворительное и неудовлетворительное соответствие.

Найдем параметры функции распределения возможностей (ФРВ), играющих роль среднего значения и стандартного отклонения:

$$a = (x_{\max} + x_{\min}) / 2 = (0,74 + 0,71) / 2 = 0,725,$$

$$b = (x_{\max} - x_{\min}) / 2\sqrt{-\ln \alpha} = (0,74 - 0,71) / 2$$

$$\sqrt{-\ln 0,52} = 0,0185.$$

Рассчитаем значение ФРВ при  $x_n = 0,75$

$$\pi_x(x) = \exp \left\{ - \left( \frac{0,75 - 0,725}{0,0185} \right)^2 \right\} = 0,163.$$

При  $a < x_n = 0,75$  возможность среднего уровня системы качества  $P = 1$ . Возможность удовлетворительного соответствия  $Q = \pi_x(x) = 0,163$ , Необходимость неудовлетворительного соответствия  $N = 1 - \pi_x(x) = 0,827$ . Интервал  $[N, 1]$  означает, что с уверенностью от 0,827 до 1 уровень системы качества неудовлетворительный. Соответственно уровень системы качества оценивается как удовлетворительный с уверенностью от 0 до 0,163.

При оценке по нижней границе  $a < x_n = 0,7$  возможность неудовлетворительного или удовлетворительного соответствия  $P = 1$  (см. рис. 1). Возможность высокого соответствия  $Q = \pi_x(x) = 0$ , Объединяя крайние случаи, делаем вывод: возможность высокого соответствия уровня системы качества – 0, возможность удовлетворительного соответствия от 0 до 0,163, возможность неудовлетворительного соответствия – от 0,827 до 1.

#### Задача оценки уровня дефектности работ

Рассмотрим задачу оценки уровня дефектности строительных работ возможным методом. Выберем для этого наиболее важные параметры прочности материалов из работы автора [13] (табл. 1) Сравним полученные методом теории возможностей результаты с традиционными статистическими оценками.

В среднем отличие средних возможностей

Таблица 1

#### Результаты расчетов методом теории возможностей и статистическим методом

Параметр прочности, МПа	Метод теории возможностей					Статистический метод		
	a	$\alpha$	b	$\pi_x(x)$	N	$\bar{x}$	Sx	P
Бетона панелей стен	30,70	0,05	5,720	0,0302	0,9698	27,84	3,92	0,977
Бетона панелей стен	27,80	0,05	3,813	0,0152	0,9848	27,35	3,38	0,985
Раствора швов панелей	22,40	0,05	5,200	0,0034	0,9966	22,07	4,86	0,993
Раствора швов панелей	13,20	0,19	2,018	0,0808	0,9192	13,26	1,92	0,955
Кирпича кладки стен	18,35	0,05	4,247	0,5367	0,4633	17,42	4,26	0,715
Кирпича кладки стен	13,75	0,05	2,167	0,0500	0,9500	12,14	2,92	0,768
Раствора швов кладки	21,90	0,05	6,413	0,0320	0,9680	20,32	5,22	0,976
Раствора швов кладки	11,70	0,05	1,329	0,1946	0,8054	10,97	1,50	0,741

ных  $a$  и статистических  $\bar{x}$  значений составляет 3%, соответствующих стандартных отклонений  $b$  и  $S_x - 11,9\%$ , вероятностей бездефектности работ  $1-\pi_x(x)$  и  $P - 3,7\%$ . Определим влияние количества измерений  $n$  на параметры функции распределения возможностей и ее значение. Для этого возьмем результаты контроля прочности раствора швов кирпичного здания [13]. Нарастивая объем выборки от 2 до  $n$ , найдем значения  $x_{max}$  и  $x_{min}$ , среднего  $a$ , разброса  $b$  и вероятности  $N = 1 - \pi_x(x)$ . Будем сравнивать эти значения со статистическими оценками среднего  $\bar{x}$ , стандартного отклонения  $S_x$  и вероятности бездефектности  $P$ .

Для параметра прочности раствора швов каменной кладки совмещенные графики значений сравниваемых характеристик изображены на рис. 2.

сти результаты. При этом достаточно малой выборки  $n < 5$  для надежного определения параметров нормального распределения и вероятности дефекта (средняя ошибка по значениям параметров 3–12%, по вероятности дефекта – около 4%).

### Заключение

Для оценки точности процессов при недостатке информации предложено использовать методы теории возможностей (нечетких множеств) Лотфи Заде. Предложены уточнения для назначения уровня риска решения методом теории возможностей. Доказано, что при малых объемах выборки могут быть получены надежные решения нечетких задач оценки качества. Сравнительными расчетами с использованием статистического метода и метода теории возможностей показано, что при ограниченной информации о кон-

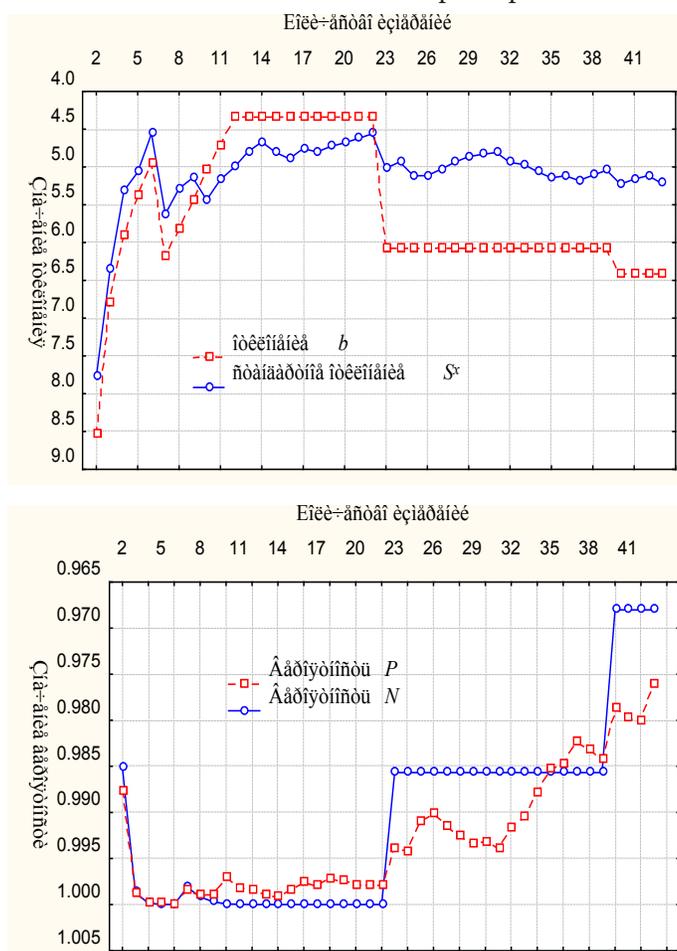


Рис. 2. Графики оценок стандартного отклонения и вероятности бездефектности, рассчитанные двумя методами

Как видим, наилучшее совпадение дисперсий и вероятностей наблюдается при  $n < 5$ . Значения вероятностей  $N$  и  $P$  практически равны при  $n < 10$ . Таким образом, при недостатке данных контроля методы теории возможностей дают приемлемые по точно-

тролируемых параметрах достаточно малой выборки для надежного определения параметров нормального распределения и вероятности дефекта. При этом средняя ошибка по значениям параметров составляет 3–12%, по вероятности дефекта – около 4%.

## Литература

1. Dubois D., Prade H. Possibility Theory, Probability Theory and Multiple-valued Logics: a Clarification // Annals of Mathematics and Artificial Intelligence. – 2001. – v. 32. – P. 35–66.
2. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде; пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 163 с.
3. Перельмутер, А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А.В. Перельмутер.– М.: Изд-во АСВ, 2007.– 256 с.
4. Smith G. N. Probability and Statistics in Civil Engineering. – London: Collins, 1986. – 224 p.
5. Spaete G. Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen. –VEB Verlag fur Bauwesen, Berlin, 1987. – 228 p.
6. Райзер, В.Д. Теория надежности сооружений / В.Д. Райзер. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 384 с.
7. Болотин, В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В.В. Болотин. – М.: Стройиздат, 1981. – 351 с.
8. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман, Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
9. Орловский, С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А.Орловский. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
10. Zimmerman H.-J. Fuzzy Sets Theory – and Its Applications. – Kluwer Academic Publisher, 1996. – 435 p.
11. Уткин, В.С. Несущая способность и надежность строительных конструкций / В.С. Уткин, Л.В. Уткин. – Вологда: ВоГТУ, 2000. – 152 с.
12. Кошелева, Ж.В. Оценка несущей способности и надежности элементов железобетонных конструкций при ограниченной информации о контролируемых параметрах: Дис. ... канд.техн. наук / Ж.В. Кошелева. – Вологда, 2004.– 186 с.
13. Байбурин, А.Х. Обеспечение качества и безопасности возводимых гражданских зданий / А.Х. Байбурин – М.: Издательство АСВ, 2014. – 336 с.

## References

1. Dubois D., Prade H. Possibility Theory, Probability Theory and Multiple-valued Logics: a Clarification // Annals of Mathematics and Artificial Intelligence. - 2001. - v. 32. - P. 35-66.
2. Zade, L. The concept of a linguistic variable and its application to the adoption of approximate solutions / L. Zade; trans. with English. - Moscow: Mir, 1976. - 163 p.
3. Perelmutter, A.V. Selected problems of reliability and safety of building structures / A.V. Perelmutter. - Moscow: Publishing House of the DIA, 2007.- 256 p.
4. Smith G. N. Probability and Statistics in Civil Engineering. - London: Collins, 1986. - 224 p.
5. Spaete G. Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen. -VEB Verlag fur Bauwesen, Berlin, 1987. - 228 p.
6. Raiser, V.D. Theory of the reliability of structures / V.D. Riser. - Moscow: Publishing House of the DIA, 2010. - 384 p.
7. Bolotin, V.V. Methods of Probability Theory and Reliability Theory in Structural Calculations. Bolotin. - Moscow: Stroiizdat, 1981. - 351 p.
8. Kofman, A. Introduction to the theory of fuzzy sets / A. Kofman, Per. with frants. - Moscow: Radio and Communication, 1982. - 432 p.
9. Orlovsky, S.A. Problems of decision making with fuzzy source information / SA Orlovsky. - Moscow: Nauka, 1981. - 208 p.
10. Zimmerman H.-J. Fuzzy Sets Theory - and Its Applications. - Kluwer Academic Publisher, 1996. - 435 p.
11. Utkin, V.S. Bearing capacity and reliability of building structures. Utkin, L.V. Utkin. - Vologda: VSTU, 2000. - 152 p.

12. Kosheleva, J.V. Evaluation of the bearing capacity and reliability of elements of reinforced concrete structures with limited information on controlled parameters: Dis. ... Cand. Sciences / Zh.V. Kosheleva. - Vologda, 2004. - 186 with.
13. Baiburin, A.Kh. Ensuring the quality and safety of civil buildings being built / A.Kh. Baiburin - М.: Publisher ASV, 2014. - 336 p.

**Байбурин А. Х.,**

доктор технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск.

E-mail: abayburin@mail.ru.

---

**Baiburin A. Kh.**

architectural and Construction Institute, South Ural State University (National Research University),

Lenin Ave. 76, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation. E-mail: abayburin@mail.ru.

---

*Поступила в редакцию 18.06.2018*