

# ПРАВИЛА ФОРМАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКА АВАРИИ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

А.П. Мельчаков, А.Н. Рябков

Предложены правила формализации экспертной информации о техническом состоянии конструкций строительного объекта. Правила предназначены для прогноза риска аварии зданий и сооружений и используются при формировании законов распределения уровней надежностей в группах однотипных конструкций несущего каркаса.

Известно [1], что задача прогнозирования риска аварии «т»-этажного здания сводится к задаче отыскания на экспертной основе законов распределения фактических уровней надежности в однотипных группах конструкций несущего каркаса объекта. Закон считается сформированным, если определены его вид (А, Б или В) (рис. 1) и уровень надежности  $\mu$  для «слабой» в группе конструкции. Процедура формализации экспертной информации при формировании таких законов делится на два этапа.

На первом этапе для каждой из групп однотипных конструкций несущего каркаса исследуемого объекта устанавливается один из следующих возможных законов распределения уровней надежностей конструкций (рис. 1):

где  $\zeta$  - уровни надежности конструкций в группе ( $\mu < \zeta \leq 1$ ), а  $\mu$  - уровень надежности «слабой» в группе конструкции.

На втором этапе формализации определяется значение  $\mu$  по правилу 1 или 2:

**Правило 1.** Для построения правила 1 использован метод теории нечеткой логики, основанный на применении лингвистической переменной «очень» [2] и позволяющий определить уровень надежности «слабой» конструкции при выявленных отступлениях (дефектах) ее параметров от требований проекта. Правило содержит семь уровней опасности «слабой» конструкции, определяемые признаками в лингвистической форме (таблица, столбцы 1-4). При составлении таблицы использовано два приема нечеткой логики. Один из них со-

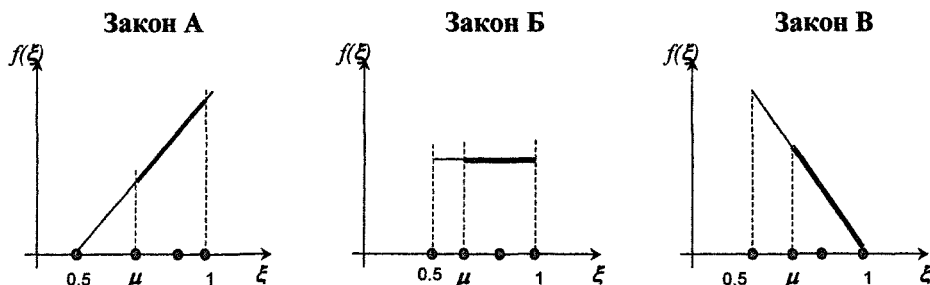


Рис. 1. Типовые законы распределения надежностей конструкций в группе

Вид закона распределения зависит от соотношения в группе дефектных и не дефектных конструкций. Если экспертом установлено, что число не дефектных в группе конструкций значительно превышает число дефектных, то следует принять закон А; если число не дефектных и дефектных конструкций в группе соизмеримо, то закон Б; в случае, если число не дефектных в группе конструкций значительно меньше числа дефектных, то принимается закон В. Математические модели законов имеют вид:

$$\text{для закона А } f(\zeta) = (2\zeta - 1)/(\mu(1 - \mu)); \quad (1)$$

$$\text{для закона Б } f(\zeta) = 1/(1 - \mu); \quad (2)$$

$$\text{для закона В } f(\zeta) = 2(1 - \zeta)/(1 - \mu)^2, \quad (3)$$

стоит в присвоении значению переменной (очень)<sup>4</sup> нижней числовой оценки степени соответствия, равной 0,5, что позволило получить числовую оценку переменной (очень)<sup>1</sup> и вычислить степени соответствия конструкции требованиям проекта при всех семи уровнях ее опасности. Другой прием состоит в введении рангов уровней опасности, позволяющий расширить диапазон устанавливаемых степеней соответствия конструкции требованиям проекта.

Для первого и третьего рангов уровней степени соответствия определяются, если диапазон [1; 0,5] разбить между опорными точками на три интервала: **1,000**; 0,993; 0,986; **0,979**; 0,972; 0,965; **0,958**; 0,945; 0,931; **0,917**; **0,889**; **0,866**; **0,841**;

## Связь уровней опасности «слабой» конструкции и степеней ее соответствия требованиям проекта

Уровень опасности	Признак уровня опасности «слабой» конструкции	Значение переменной «очень»	Степень соответствия	Ранг уровня	Надежность «слабой» конструкции ( $\mu$ )
0	Дефекты не обнаружены	-	-	-	<del>1,000</del>
				-	0,993
1	Отступление от требований проекта незаметное	(очень) <sup>1/8</sup>	0,979	1	0,986
				2	<b>0,979</b>
				3	0,972
2	Отступление от требований проекта заметное	(очень) <sup>1/4</sup>	0,958	1	0,965
				2	<b>0,958</b>
				3	0,945
3	Отступление от требований проекта незначительное	(очень) <sup>1/2</sup>	0,917	1	0,931
				2	<b>0,917</b>
				3	0,889
4	Отступление от требований проекта существенное	(очень) <sup>1</sup>	0,841	1	0,866
				2	<b>0,841</b>
				3	0,797
5	Отступление от требований проекта значительное	(очень) <sup>2</sup>	0,707	1	0,752
				2	<b>0,707</b>
				3	0,669
6	Отступление от требований проекта очень значительное	(очень) <sup>3</sup>	0,595	1	0,632
				2	<b>0,595</b>
				3	0,564
7	Соответствие требованиям проекта предельное	(очень) <sup>4</sup>	0,500	-	0,532
				-	<del>0,500</del>

0,797; 0,752; **0,707**; 0,669; 0,632; **0,595**; 0,564; 0,532; **0,500**. Отбрасывая согласно нечеткой логики крайние (подчеркнутые) значения, и заменяя, согласно той же логики степень соответствия на уровень надежности конструкции, приходим к правилу, показанному в табл. 1 (столбцы 5-6). Для уровней опасности 0 и 7 ранги не назначаются, а уровень 0 означает, что в конструкции дефекты не обнаружены. Уровни опасности «слабых» конструкций и ранги уровней назначаются ведущим экспертом на основе экспертной информации о техническом состоянии «слабых» в группах конструкций, своего опыта, знаний и интуиции. При назначении уровней опасности «слабых» конструкций эксперт определяет вид предельного состояния конструкции (по прочности или по величине раскрытия трещин), привлекая в случае необходимости для решения этой задачи узких специалистов.

**Правило 2.** В правиле 2 для определения уровня надежности «слабой» конструкции при наличии численной информации о выявленных дефектах использован подход, основанный на применении математических моделей, устанавливающих степень принадлежности «слабой» конструкции к одному из абсолютных предельных состояний, к которым относятся:

- местное хрупкое разрушение в ограниченном объеме или сечении конструкции;

- чрезмерное деформирование несущей конструкции, провоцирующее превращение ее в механизм;

- общая или местная потеря устойчивости вида деформации конструкции.

Для назначения  $\mu$  служит следующая математическая модель:

$$\mu = \exp \left[ -\frac{(x-c)^2}{(t \cdot u)^2} \right], \quad (4)$$

где  $x$  - фактическое числовое значение отступления параметра «слабой» конструкции от требований проекта,  $c$  - проектное значение величины  $x$ ;  $u$  - предельное значение величины  $x$ , соответствующее одному из абсолютных предельных состояний;  $t$  - число, равное значению, при котором  $\mu = 0,5$ , если  $x = u$  (рис. 2).

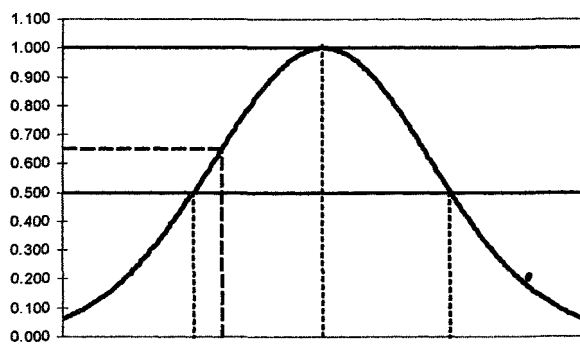


Рис. 2. Математическая модель для определения  $\mu$

Для определения предельных числовых значений ( $u$ ) параметров конструкции используются методы и подходы, цель которых состоит в выяв-

лении фактического запаса безопасности, заложенного в установленное проектом значение параметра. Удаление этого запаса приводит к предельному значению параметра. Предельные значения формируются из расчета конструкции по предельному равновесию. При этом задача формулируется следующим образом: определить числовое значение параметра, при котором действующая на конструкцию нагрузка становится предельной, соответствующей переходу конструкции в механизм.

Данная математическая модель является аналогом нормального закона распределения плотности вероятности и отражает известную закономерность, состоящую в том, что при малых отклонениях  $x$  от  $c$  величина  $\mu$  мало отличается от единицы; с увеличением этого отклонения  $\mu$  начинает снижаться до своего предельного значения, равного 0,5. В правиле 1 (табл. 1) величина  $\mu$  с повышением уровня опасности «слабой» конструкции ведет себя аналогично и в этом смысле описанные правила тождественны. Для доказательства приведем простейший пример. Пусть экспертом установлено, что ж/б плита перекрытия имеет глубину опирания на кирпичную стену 4,5 см, проектная глубина - 12 см, предельная глубина, соответствующая сколу края кирпичной стены - 2 см. Следовательно,  $x = 4,5$ ;  $c = 12$ ;  $u = 2$ . Значение параметра  $t$  определяется из уравнения

$$0,5 = \exp[-(2 - 12)^2 / (t \cdot 2)^2], t = 6,006.$$

$$\text{По формуле } \mu = \exp[-(4,5 - 12)^2 / (6,006 \cdot 2)^2]$$

определяется значение  $\mu = 0,677$ . Если бы эксперт для определения  $\mu$  воспользовался правилом 1, приведенного в табл. 1, то, учитывая, что отклонение глубины опирания ж/б плиты на стену от проектного значения *значительное*, с высокой долей вероятности назначил бы пятый уровень опасности, а ранг уровня либо 2-й ( $\mu = ,707$ ), либо 3-й ( $\mu = 0,669$ ).

В экспертной практике имеют место случаи,

когда требуется оценить надежность сложной (комплексной) конструкции, возведенной по единой технологии и состоящей из целого ряда конструктивных элементов. Как правило, это комплексные конструкции несущего каркаса монолитных зданий. В таких случаях необходимо оценить уровни надежности всех конструктивных элементов, а за уровень надежности  $\mu$  комплексной конструкции принять минимальный из уровней надежности составляющих ее элементов.

В заключение следует отметить недостатки и достоинства предложенных правил. Главное преимущество 1-го правила формализации - это оперативность принятия решения об уровне надежности «слабой» конструкции, позволяющая в «реальном времени» прогнозировать уровень конструкционной безопасности объекта. При его использовании определяется уровень надежности конструкции целиком, а при использовании 2-го правила - конкретного дефекта. Преимущество 2-го правила заключается в максимальном снижении субъективизма при оценке дефекта, но с помощью его нельзя оценить некоторые дефекты, такие как отсутствие гидроизоляции, скол бетона и т.д. Для повышения точности принимаемых решений по правилу 1 можно воспользоваться приемом, когда в процедуре назначения уровней опасности «слабых» конструкций участвуют несколько ведущих экспертов и окончательное решение принимается коллегиально.

### Литература

1. Мельчакова А. П. К теории прогнозирования риска аварии объектов строительства // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». Выпуск 1. - 2001. - С. 33-36.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир, 1976.