

## О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Кукунаев В.С., д.т.н., с.н.с., Шеховцов И.В., к.т.н., доц.,  
Агаева О.А., Крылова А.А.**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
Украина*

Основным показателем, определяющим надежность строительных конструкций, зданий и сооружений в целом, является безопасность их работы. Проблема оценки надежности на протяжении многих лет исследовалась многими учеными. Однако, в современных экономических условиях, актуальность этой проблемы существенно возросла. Это связано с тем, что, во-первых, существующие нормы проектирования строительных конструкций не содержат ни методов оценки надежности, ни ее количественных показателей, в результате чего проектировщик, выполнив расчет, не имеет точного представления о том, насколько надежна данная конструкция. Во-вторых, с ростом изношенности основных жилых фондов и промышленных предприятий, ошибок при проектировании и эксплуатации возникает необходимость оценки остаточного ресурса конструкций и возможности безопасной их эксплуатации. [1]

На сегодняшний день многие здания и сооружения выработали свой ресурс, но продолжают эксплуатироваться. Поэтому их сохранность, продление срока службы и снижение эксплуатационных расходов становятся национальными задачами всех стран.

В нормативных документах надежность определяется, как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять предусмотренные функции в заданных режимах и условиях эксплуатации, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортировки. Надежность конструкции – комплексный показатель качества, включающий такие понятия, как работоспособность, живучесть, ремонтпригодность. [2]

Основная задача теории надежности – разработка таких методов проектирования сооружения, при которых вероятность выхода его из строя была бы минимальной. При этом следует стремиться к тому, чтобы все элементы сооружения были равно надежны, т.е. такими, при

которых надежность отдельных элементов, узлов их сопряжений оценивалась бы приблизительно равными количественными характеристиками. При проектировании сооружений, представляющих систему отдельных элементов, необходимо оценить ее надежность и долговечность по известным законам распределения надежности и долговечности этих элементов. Степень надежности системы зависит от того, как взаимодействуют между собой составляющие ее элементы [3].

Теория надежности послужила основой формирования вероятностных методов расчета. Основы вероятностного подхода к расчету строительных конструкций разработали Н.С.Стрелецкий, А.Р.Ржаницын, В.В. Болотин, А.М. Фрейденталь. Затем они развиты А.Я. Барашиковым, А.П. Кудзисом, М.Б. Краковским, А.С. Лычевым, О.В. Лужиным, В.Д. Райзером, В.П. Чирковым и другими.

Вероятностный подход к расчету конструкций и их элементов трактует физико-механические характеристики материалов, конструктивные параметры элементов и действующие нагрузки и воздействия как случайные процессы. При таком подходе надежность конструкции рассматривается, как ее способность сохранять свои расчетные параметры (прочность, деформации, ширину раскрытия трещин и т.д.) в пределах, предусмотренных нормами, на протяжении всего срока эксплуатации здания или сооружения [4].

Развитие теории надежности механических систем идет сейчас по пути, несколько отличному от того, по которому развивается общая теория надежности. Этот путь состоит в учете взаимодействия конструкции с окружающей средой, расчете ее стохастического поведения и получении вероятностных выводов, основанных на анализе этого поведения.

Вероятностная модель при расчетах на динамические нагрузки была с успехом применена В.В. Болотиным для расчета сооружений на сейсмические нагрузки. На основе этой модели вычисляется ожидаемый риск и для конструкций, испытывающих другие воздействия.

Следует иметь в виду, что в инженерных задачах исходные данные очень часто бывают далеко не полными. Так, например, величина внешних сил изменяется во времени, свойства материала, из которого сделана конструкция, также определяются как средние и имеют разброс, коэффициент надежности может быть определен вероятностным методом. Возникают термины "допустимый предел", "инженерное решение", которые подтверждают отсутствие достаточной точности в исходных данных. В результате для описания вероятности разрушения

конструкции возникает понятие "риск", которым характеризуют полученное решение.

Одной из первых работ, в которой сформулированы основные принципы расчета конструкций на основе теории риска, была работа С.В.Медведева, Г.А.Лямзиной, А.П.Синицына, Е.С.Медведевой "Основные принципы расчета сейсмического риска", выполненная в 1970 г. в Институте физики Земли Академии наук СССР [5]. Позднее были опубликованы работы: Н.П. Ваучского (1975 г.), Синицына А.П. [6] посвященная методу сбалансированного риска (1976 г.), Я.М. Айзенберга, А.И. Неймана и А.Д. Абакурова, в которой рассмотрены математические модели сейсмического риска (1977 г.). Оценке устойчивости откосов на основе теории риска посвящена работа Синицына А.П., опубликованная в 1978 г. В работе Т. Бачкаи, Д. Месена, Д. Мико и др. [7] изложены методы использования теории риска для решения задач, связанных с разработкой наиболее удачных планов развития различных производств.

Для сопоставления различных вариантов проектных решений путем вычисления риска нужно использовать результаты расчета на прочность как отдельных конструкций, так и сооружения в целом. При численном методе расчета сложную систему делят на простые элементы и изучают напряжения, деформации и перемещения каждого элемента. Затем собирают все простые элементы, соблюдая условия контакта для тех сечений, в которых происходит соединение элементов в единую систему. Естественно, что геометрические размеры и конфигурация каждого простого элемента могут быть весьма разнообразными и назначаются с учетом требуемой точности расчета и степени сложности сооружения.

Нередко наблюдается тенденция принимать завышенные значения усилий, что, однако, не гарантирует конструкцию от обрушения, связанного с влиянием случайных внешних сил. Таким образом, вычислить риск можно на основании теоретических выводов с использованием, например, МКЭ.

Принимая теоретические предпосылки для оценки риска, следует учитывать, что эти оценки содержат элементы риска. К ним относятся:

- 1) риск, связанный с возможностью наступления ожидаемых событий или появления неожиданных событий;
- 2) риск, возникающий от возможного изменения системы предварительных оценок;
- 3) риск, связанный с надежностью информации, на которой основана предварительная оценка.

Теоретические предпосылки или, как их можно назвать, исходные данные для вычисления риска должны быть особо тщательно обоснованы в соответствии с принимаемой методикой вычисления риска.

Обобщенную внешнюю нагрузку  $S$  и обобщенное сопротивление  $R$  конструкции рассматривают как случайные величины, которые имеют нормальные функции распределения вероятности. При этом  $S$  и  $R$  должны быть выражены в одинаковых единицах измерения. Предельное состояние конструкции характеризуется условием  $R < S$  или  $R - S < 0$ . Случайная величина  $m = R - S$  может рассматриваться как область, характеризующая риск, соответствующий данной задаче. Для  $R$ ,  $S$  и  $m$  принимаются нормальные распределения, имеющие средние значения  $\check{R}$ ,  $\check{S}$ ,  $\check{m}$  и дисперсии  $\sigma_R$ ,  $\sigma_S$  и  $\sigma_m$ , которые связаны между собой формулами:

$$\check{m} = \check{R} - \check{S}, \quad \sigma_m = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad \text{и} \quad v = \check{R} / \check{S}; \quad (1)$$

$$\delta_R \text{ и } \delta_S - \text{коэффициенты вариации: } \sigma_R = \delta_R \check{R} \quad \text{и} \quad \sigma_S = \delta_S \check{S}; \quad (2)$$

$$\check{m} = (\check{R} / \check{S} - 1) \check{S} = (v_0 - 1) \check{S}; \quad \sigma_m = \check{S} \sqrt{\delta_R^2 v_0^2 + \delta_S^2} \quad (3)$$

При подсчетах используется формула нормированной функции для нормального распределения

$$\Phi(u) = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (4)$$

и формула для вероятности  $P(x)$  при нормальном распределении

$$P\{x\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x e^{-(t-\xi)^2/2\sigma^2} dt = \Phi \left[ \frac{x-\xi}{\sigma} \right], \quad (5)$$

то есть  $P\{x\} = \Phi(u)$  при  $u = \frac{x - \xi}{\sigma}$ . Значения  $\Phi(u)$  определяются по таблицам.

Риск, соответствующий данному предельному состоянию конструкции, вычисляется как вероятность разности  $R - S = m > 0$

$$P\left\{(\check{R} - \check{S}) > 0\right\} = P\left\{\check{m} > 0\right\} = 1 - P\left\{\check{m} < 0\right\} = 1 - \Phi\left[(0 - \check{m}) / \sigma_m\right] \quad (6)$$

$$\text{или} \quad \text{risk} = \Phi(-m / \sigma_m). \quad (7)$$

Общий порядок вычисления риска состоит в следующем:

1. Обобщенное сопротивление  $\check{R}$  конструкции и приложенная внешняя нагрузка  $\check{S}$  должны быть описаны с помощью одинаковых величин. Такими величинами могут быть изгибающие моменты, прогибы или предельное раскрытие трещин. Величину  $\check{R}$  вычисляют с использованием методов строительной механики для каждого предельного состояния.

2. Статистические данные должны быть получены для всех переменных, применяемых в расчетах. Статистические параметры  $\check{R}$ ,  $\check{S}$  и  $\sigma$  устанавливают для каждого предельного состояния.

3. Обобщенные значения параметров внешней нагрузки  $\check{S}$  и  $\sigma_s$  вводят в расчет на основе действующих норм или определяют экспериментальным путем.

4. Подсчитанное значение риска сравнивают со значениями, рекомендуемыми в [8]. Если риск оказался слишком большим, то изменяют расчетные параметры, например, увеличивают  $v_0$ .

### **Выводы**

1. Таким образом, успешное выполнение инженерных задач зависит от правильности принятого решения. Теория риска помогает найти наиболее эффективное решение путем сравнения вариантов, для каждого из которого вычисляется риск. Вариант решения, имеющий наименьший риск, как правило, является оптимальным.

2. Специфика теории надежности строительных конструкций состоит в необходимости учета случайных свойств нагрузок и воздействий на сооружения, а также учета совместного действия случайных нагрузок на систему со случайными прочностными характеристиками.

3. Конструктивная надежность зданий и сооружений определяется через надежность образующих их элементов в зависимости от характера их взаимосвязи и взаимодействия.

Изложенная методика оценки конструктивной надежности конструкций может быть использована при проектировании различных строительных конструкций и для накопления статистических данных о риске эксплуатации таких конструкций в определенных условиях.

## SUMMARY

The article examines some of the issues of constructions reliability theory and its probabilistic calculation methods. Particular attention is paid to the principles of structural analysis based on risk theory.

### *Литература*

1. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании – М.: Изд-во АСВ, 1998. 304 с.
2. Кудзис А.П. Оценка надежности железобетонных конструкций. – Вильнюс: Моклас, 1985. – 155с.
3. Клованич С.Ф., Кобринец В.М. Надежность и долговечность сооружений. Конспект лекций.– Одесса. 2003.– 56 с
4. Застава М.М., Агаев А.А., Работин Ю.А. Регулирование расчетной надежности железобетонных конструкций. – Одесса. 1996. – 194 с.
5. Медведев С.В., Лямзина Г.А., Сеницын А.П. Основные принципы расчета сейсмического риска. – Тр. IV симпозиума по инж. сейсмологии. – София, 1973. – с. 73 – 78.
6. Сеницын А.П. Метод сбалансированного риска и критерии устойчивости фундаментов. – Тр. V Дунайской конференции по механике грунтов. – Братислава, 1977, с. 63 – 68.
7. Бачкай Т., Месена Д., Мико Д. и др. Хозяйственный риск и методы его измерения. М.: Экономика, 1979. – 182 с.
8. Сеницын А.П. Расчет конструкций на основе теории риска. – М.: Стройиздат, 1985. – 304 с.