

УДК 624.046.5

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ  
СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПО НЕПОЛНЫМ ДАННЫМ**

**ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ  
ЗА НЕПОВНИМИ ДАНИМИ**

**PRELIMINARY ASSESSMENT OF RELIABILITY OF THE EXISTING  
CONSTRUCTION BASED ON SNCOMLETE DATA**

**Усаковский С.Б. д.т.н., проф.,** (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

**Усаковський С.Б. д.т.н., проф.,** (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

**Usakovsky S.B., doctor of Engineering Science, prof.,** (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

Для предварительной оценки надежности существующих конструкций предложено использовать идейную связь между методами предельных состояний и моделью надежности А.Р. Ржаницына.

Для попередньої оцінки надійності існуючих конструкцій запропоновано викристовувати зв'язок між методами граничних станів та моделлю надійності О.Р.Ржаніцина.

It is proposed to use the conceptual connection between the methods of limit states and the reliability model of A.R. Rzhanitsyn for the preliminary assessment of reliability of the existing constructions.

**Ключевые слова:**

**Надежность конструкций, метод предельных состояний.**

**Надійність конструкцій, метод граничних станів.**

**Reliability of construction, methods of limit states**

Натурное обследование технического состояния сооружений (особенно массовых однотипных) полезно начинать с определения проектного значения коэффициента запаса и начальной надежности. Это позволит выявить факторы, на которые следует обратить внимание при обследовании в первую очередь.

При этом рационально использовать модель оценки надежности, предложенную одним из основоположников теории надежности конструкций А.Р. Ржаницыным [1]. Характеристика безопасности  $\gamma$  по А.Р. Ржаницыну определяется следующим образом:

$$\gamma = \frac{\xi - 1}{\sqrt{A_R^2 \cdot \xi^2 + A_Q^2}} \quad (1)$$

здесь  $\xi$  – коэффициент запаса, он равен отношению средних значений обобщенной прочности  $\bar{R}$  и обобщенного внешнего воздействия  $\bar{Q}$ , точнее, математических ожиданий этих величин:  $\xi = \frac{\bar{R}}{\bar{Q}}$ ;  $A_R$  и  $A_Q$  – коэффициенты вариации (изменчивости) величин  $\bar{R}$  и  $\bar{Q}$ ;  $A_R$  и  $A_Q$  учитывают изменчивость  $C_v$  всех действующих факторов,  $A_R = \frac{\sigma_R}{\bar{R}}$ ;  $A_Q = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}}$ , здесь  $\sigma$  – обозначение среднего квадратического отклонения (стандарта).

Определив характеристику безопасности  $\gamma$ , можно по таблицам функции Лапласа перейти к оценке надежности конструкции  $P$ , которая показывает вероятность безотказной работы конструкции.

В модели А.Р. Ржаницына изменчивые характеристики обобщены:  $A_R$  зависит от изменчивости прочности материалов (в случае фундаментов и от изменчивости прочностных характеристик грунтов),  $A_Q$  зависит от изменчивости постоянных и временных нагрузок.

Главное достоинство этой модели – ее простота и связь с детерминированным методом расчета. Коэффициент запаса  $\xi$  здесь можно определить детерминированным методом: его можно вычислить, «собрать» соответствующие расчетные коэффициенты метода предельных состояний, заложенные в нормы проектирования.

Между моделью оценки надежности А.Р. Ржаницына и методом предельных состояний прослеживается идейная связь, которая может быть использована в инженерных задачах. Эта модель отражает суть создания необходимых запасов прочности конструкции: коэффициент запаса должен быть таков, чтобы изменчивость обобщенной нагрузки  $Q$  и обобщенной прочности  $R$  не привела конструкцию в область вероятного отказа.

Кроме того, расчетные коэффициенты метода предельных состояний часто имеют статистическое обоснование. Так, например, для постоянных

нагрузок коэффициент вариации  $C_v = 0,033$ , а коэффициент надежности по нагрузке равен  $\gamma_f = 1,1$ , что соответствует трем стандартам.

Заметим, что А.Р. Ржаницын предлагал определять коэффициент запаса  $\xi$  статистическим методом, собирая статистику по  $R$  и  $Q$ . Здесь же предложено определять  $\xi$  путем учета совокупности расчетных коэффициентов метода предельных состояний для данной конструкции. Эти коэффициенты ранее в отмененных нормах назывались: коэффициент перегрузки  $n$ , коэффициент однородности  $k$ , коэффициент условий работы. Ныне в нормативных документах их называют коэффициентами надежности. Например,  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке.

Изменчивость действующих факторов  $C_v$ , которые входят в  $A_R$  и  $A_Q$  можно определить, используя техническую литературу.

Выше была изложена идея оценки надежности конструкций по неполным данным.

Ниже приведены рабочие этапы такой оценки.

1. Следует выявить определяющий расчет исследуемой конструкции, т.е. тот расчет, требования которого определяют параметры конструкции. Этот расчет в свою очередь является детерминированной основой вероятностного расчета надежности конструкции. Так для фундаментов часто определяющим является расчет фундамента по грунту. Для железобетонных конструкций – расчет прочности при воздействии изгибающего момента или расчет трещиностойкости. Т.е. за основу вероятностной оценки надежности следует принять то предельное состояние конструкции, которое вызывает наибольшее опасение. Возможна вероятностная оценка нескольких предельных состояний, важных для надежности данной конструкции.

2. Используя выбранный расчет, необходимо определить коэффициент запаса  $\xi$  «собирая» соответствующие коэффициенты метода предельных состояний. Здесь следует учесть коэффициент надежности по нагрузке, возможно, коэффициент условий работы и другие коэффициенты, которые были использованы в свое время при проектировании данной конструкции по соответствующим для того времени нормам. Напомним, что при переходе к методу предельных состояний единый коэффициент запаса был разделен на ряд расчетных коэффициентов. Теперь предстоит работа по «восстановлению» этого коэффициента запаса.

3. Коэффициент вариации  $A_Q$  в модели надежности (1) зависит от коэффициентов вариации  $C_v$  нагрузок,  $A_R$  зависит от  $C_v$  прочностных свойств материалов и грунтов. Характеристики  $C_v$  часто приводятся в технической литературе, посвященной проблеме надежности конструкций, а также в соответствующих ДБН.

Следует заметить, что коэффициент вариации прочности строительных материалов имеет меньший диапазон значений, чем прочность соответствующего материала. Так прочность бетона в зависимости от класса прочности находится в широких пределах, а соответствующий коэффициент вариации прочности находится в диапазоне 10 %÷ 16 %, в некоторых неблагоприятных случаях – 18 %÷ 20 %.

4. Предполагается, что инженер, запроектировавший данную конструкцию, выполнил в свое время все требования нормативного расчета. Об этом может свидетельствовать положительный опыт эксплуатации сооружения.

5. Собрав и вычислив необходимые исходные данные:  $\xi$ ,  $A_Q$ ,  $A_R$ , следует оценить надежность конструкции по (1). При этом желательно учесть возможный износ конструкции и возникшую дополнительную нагрузку. Эти два фактора уменьшают величину коэффициента запаса  $\xi$  и понижают надежность.

6. Важным является вопрос: какова форма отказа данной конструкции. В теории надежности различают четкие и нечеткие отказы. Пример четкого отказа – появление трещины в конструкции, пример нечеткого – недопустимое раскрытие трещины. Конструкции с нечеткими отказами заранее сигнализируют об опасности. Конструкции с четкими отказами требуют большего внимания, т.к. отказы в них наступают внезапно. Еще один пример нечеткого отказа: постепенный рост деформаций конструкции, пример четкого – потеря устойчивости конструкции.

7. Важна также интерпретация полученных оценок надежности. Полученные результаты верны для той генеральной совокупности, для которой были собраны статистические данные и рассчитан коэффициент запаса. В технической литературе, в частности в нормах, приведены показатели надежности, имеющие рекомендательный характер.

8. Последующее натурное обследование сооружения позволяет оценить величину износа конструкций, уточнить действующие нагрузки и скорректировать показатель надежности. Следует помнить, что найденный показатель надежности  $P$  – это интегральная характеристика конструкции, которая может не учитывать повреждений отдельных элементов, узлов, на что следует обратить внимание при натурном обследовании.

В случае необходимости надежность конструкций может быть повышена путем уменьшения нагрузок, например, нагрузок от собственного веса конструкций, и повышением прочности конструктивных элементов, а также уменьшением изменчивости действующих факторов.

9. Для усиления, реконструкции сооружения может быть полезна расширенная модель надежности А.Р. Ржаницына (2), которая приведена ниже. Модель (1) получена А.Р. Ржаницыным из выражения:

$$\gamma = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}}$$

путем деления числителя и знаменателя на  $\bar{Q}$ . Для некоторых задач имеет смысл показать все действующие изменчивые факторы, расписав значения  $\sigma_R$  и  $\sigma_Q$ . Тогда

$$\gamma = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} \cdot \sigma_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \cdot \sigma_{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial Q}{\partial y_1} \cdot \sigma_{y_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial y_2} \cdot \sigma_{y_2}\right)^2 + \dots}} \cdot \quad (2)$$

Корреляционные связи между случайными факторами следует в моделях (1) и (2) учесть.

Численная величина частного стандарта в знаменателе (это выражение в скобках) показывает здесь относительную роль изменчивости случайного фактора  $x_i$  или  $y_i$ . Найденные для определения  $\xi$  коэффициенты покажут роль средних значений этих факторов.

Модель (2) может найти применение при детальном обследовании сооружения и разработке мер по его реконструкции.

1. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
2. Усаковский С.Б. Прикладные задачи теории надежности сооружений. О новой парадигме теории расчета сооружений. – К.: КНУСА, 2014. – 56 с.