

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

У статті розглядаються методи ймовірних розрахунків перерізів залізобетонних прогонових будов: метод статистичної лінеаризації та метод статистичного моделювання. У якості основного для розрахунку перерізів на надійність запропонований метод статистичної лінеаризації.

*Ключеві слова:* безвідмовність, надійність, статистична лінеаризація, статистичне моделювання, прогонува будова

В статье рассматриваются методы вероятностных расчетов сечений железобетонных пролетных строений: метод статистической линейаризации и метод статистического моделирования. В качестве основного для расчета сечений на надежность рекомендован метод статистической линейаризации.

*Ключевые слова:* безотказность, надежность, статистическая линейаризация, статистическое моделирование, пролетное строение

The article discusses methods of probability calculations of reinforced concrete bridge spans: a method of statistical linearization and the method of statistical modeling. The main sections to calculate the reliability of the recommended method of statistical linearization.

*Keywords:* dependability, reliability, statistical linearization, statistical modeling, span

Железобетонная балка пролетного строения представляет собой систему отдельных элементов. Обязательным свойством элемента является возможность находиться в одном из состояний «работа» и «отказ». Для обеспечения безотказности пролетного строения необходимы также его достоверные вероятностные характеристики.

Поскольку предельные состояния могут возникнуть в сечениях конструкций, то лучше всего в качестве элементов выбрать нормальные и наклонные сечения плит и балок. Расчеты производятся по первой группе предельных состояний, то есть по расчету на прочность.

В данной работе рассматриваются такие методы вероятностных расчетов сечений как метод статистической линейаризации и метод статистического моделирования, как наиболее доступные для инженерных расчетов.

Для расчета по методу статистического моделирования приняты упрощенные зависимости для расчета нормальных железобетонных сечений с прямоугольной сжатой зоной бетона:

$$M = \bar{R}_b \cdot \bar{b} \cdot x(\bar{h}_0 - 0,5x), \quad (1)$$

$$x = R_p A_p / \bar{R}_b \bar{b} = \bar{P}_p \bar{R}_b \cdot \bar{b}, \quad (2)$$

$$\xi = x / \bar{h}_0 \leq c, \quad (3)$$

где  $M$  – момент внешних сил;  $\bar{R}_b$  – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при расчете по предельным состояниям первой

группы;  $\bar{b}$  и  $x$  – ширина и высота сжатой зоны бетона;  $\bar{h}_0$  – рабочая высота сечения;  $R_p$  и  $A_p$  – расчетное сопротивление растяжению напряженной арматуры и площадь её поперечного сечения;  $\bar{P}_p$  – предельное усилие, воспринимаемое преднапряженной арматурой;  $\xi$  и  $\xi_y$  – относительная высота сжатой зоны бетона и ее граничное значение.

В расчетах по обоим методам приняты 4 случайные величины: прочность  $\bar{R}_b$ , предельное усилие в арматуре  $\bar{P}_p$ , рабочая высота сечения  $\bar{h}_0$ , и ширина сечения  $\bar{b}$ .

Расчетами по методу статистической линейаризации можно получить зависимость для стандарта несущей способности сечений по изгибающему моменту:

$$\sigma_\mu = \left[ A_1 (V_{R_b}^2 + V_b^2) + B_1 V_{P_p}^2 + C_1 V_b^2 \right]^{0,5}; \quad (4)$$

$$A_1 = \bar{P}_p^4 / 4 \bar{P}_b^2 \bar{b}^2; \quad B_1 = \left[ (\bar{h}_0 - \bar{P}_p / \bar{R}_b \bar{b}) \bar{P}_p \right]^2; \quad (5)$$

$$C_1 = (\bar{P}_p \bar{h}_0)^2; \quad (6)$$

Для расчета сечений в середине пролета приняты балки пролетных строений по типовому проекту Союздорпроекта 3.503-12, выпуск 384. Установлено, что коэффициенты вариации прочности балок длиной 33 м равны 4,8 %...4,9 % и являются весьма стабильными. По закону нормального распределения прочно-

сти безотказность пролетных строений составила от  $0,9 \times 10^6$  до  $0,9 \times 10^9$ .

Расчет по методу статистического моделирования выполнен по специальной программе, которая реализована на языке программирования  $Si^{++}$ .

Суть расчетов заключалась в генерировании псевдослучайных величин прочности бетона, усилия в арматуре, рабочей высоты сечения и ширины сжатой зоны с последующим получением выборки случайных моментов по формулам (1) и (2) и статистической обработкой выборки. Программа также позволила оценить точность полученных числовых характеристик прочности по изгибающему моменту.

Количество реализаций в выборке было принято  $n = 500$ , что обеспечило высокую точность расчетных значений прочности ( $t = 0,6$  %).

Выполненные по методу статистического моделирования расчеты показали хорошую сходимость результатов с величинами, полученными по методу статистической линеаризации. Таким образом, в качестве основного для расчета сечений на надежность можно рекомендовать метод статистической линеаризации, а метод статистического моделирования использовать как поверочный в необходимых случаях.

Результаты проведенных по обоим методам расчетов были проверены экспериментальными данными, полученными разными исследователями на основании методических образцов. Было установлено, что погрешность модели увеличивает коэффициент вариации прочности сечений на величину  $\Delta V_H = 6,0$  %. Коэффициенты вариации прочности сечений типовых балок пролетных строений составили  $V_R = 10,8 \dots 10,9$  %, а их безотказность находилась в диапазоне  $0,987 \dots 0,988$ .

Таким образом можно сделать вывод о высокой надежности изгибаемых нормальных сечений типовых балок пролетных строений. Формулы (4), (5) с учетом поправки  $\Delta V_H$  можно использовать для расчетов непереармированных сечений с прямоугольной сжатой зоной бетона ( $\xi < 0,2$ ).

Величину коэффициента безопасности  $\gamma_R$  совместно с  $V_R$  можно определить по формуле:

$$\gamma_R = \bar{S} - S_p / \sigma_s = (\bar{S} / S_p - 1) / V_s, \quad (7)$$

где  $\bar{S}$  и  $S_p$  – среднее и расчетное значение усилия (момента);  $\sigma_s$  и  $V_s$  – стандарт и коэффициент вариации усилия.

В заключении можно отметить, что методы вероятностных расчетов позволяют с большой достоверностью определять надежность железобетонных пролетных строений автодорожных мостов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лантух-Лященко, А. І. Оцінка технічного стану транспортних споруд, що знаходяться в експлуатації [Текст] / А. І. Лантух-Лященко // Вісник транспортної Академії України. – 1999. – № 3. – К.: 1999. – С. 59-63.
2. Иосилевский, Л. И. Практические методы управления надежности железобетонных мостов [Текст] / Л. И. Иосилевский. – М.: Науч.-изд. центр ИНЖЕНЕР, 2005. – 324 с.
3. Болотин, В. В. Методы теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений [Текст] / В. В. Болотин. – М.: Стройиздат, 1982. – 35 с.
4. Ржаницын, А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность [Текст] / А. Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.

Поступила в редколлегию 20.10.2011.

Принята к печати 20.11.2011.