

УДК 624.07

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РАМЫ ПРИ АВАРИЙНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

М. А. АМЕЛИНА

Научный руководитель В. И. КОЛЧУНОВ, д-р техн. наук, проф.
Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет
Москва, Россия

Несмотря на введенный в ряде стран, включая и Россию, стандарт ИСО 2394 по основным принципам надежности, реальный инструментарий для практической реализации такого документа в практике проектирования строительных конструкций до настоящего времени не разработан. Необходимы дальнейшие исследования по этой проблеме и разработка соответствующих вероятностных моделей для прогноза и оценки надежности строительных конструкций зданий и сооружений в особых расчетных ситуациях. В связи с этим в настоящей работе предложена вероятностная модель расчета риска отказа железобетонной рамы при потере устойчивости ее элементов, вызванной особым аварийным воздействием – удалением одной из колонн.

Был построен алгоритм расчета вероятности отказа железобетонной рамы при потере устойчивости ее элементов, вызванной удалением одной из колонн, включающий следующие элементы.

1. Построение расчетной схемы двухпролётной железобетонной рамы, нагруженной внецентренно приложенными продольными силами. Нагружение рамы производится в два этапа. На первом этапе к верхним узлам рамы прикладывается постоянная статическая нагрузка в виде сосредоточенных сил P_1, P_2, P_3 с эксцентриситетом e . На втором этапе прикладывается особое воздействие в виде внезапного удаления крайней колонны первого этажа.

2. Определение критических параметров и критических значений сил для каждой из стоек рамы по первичной и вторичной расчётным схемам с использованием метода перемещений. Учитывая уровневое изменение жесткостей элементов рамы вследствие трещинообразования при нагружении конструкции, вычисление коэффициента средних деформаций арматуры на участках между трещинами и, соответственно, приведенных жесткостей сечения производится с учетом деформационного эффекта [1]. При этом для построенных с учетом деформационного эффекта эпюр распределения деформаций бетона и арматуры вычисляются относительные взаимные смещения арматуры и бетона на участке между двумя смежными трещинами.

3. Вычисление основного параметра железобетона – параметра средних деформаций арматуры (коэффициента В. И. Мурашева ψ_s) – производится методом наименьших квадратов. Для функции параметра ψ_s получено выражение

$$\begin{aligned}\psi_s = \frac{\varepsilon_{sm}}{\varepsilon_s} &= \frac{2}{\varepsilon_s l_{crc}} \int_0^{0.5l_{crc}} \varepsilon_s(y) dy = \frac{2}{\varepsilon_s l_{crc}} \int_0^{0.5l_{crc}} (\varepsilon_s + ay^2 + by^4) dy = \\ &= \frac{2}{\varepsilon_s l_{crc}} \left[\frac{1}{2} \varepsilon_s l_{crc} + \frac{1}{24} a l_{crc}^3 + \frac{1}{160} b l_{crc}^5 \right].\end{aligned}\quad (1)$$

4. Вероятностная модель отказа элементов рамы после внезапного удаления одной из колонн (рис. 1) строится с использованием принципа эквиградиентности Г. А. Гениева [2], математическое выражение которого записано в виде

$$\frac{\partial P}{\partial q_1} = \frac{\partial P}{\partial q_2} = \frac{\partial P}{\partial q_n}. \quad (2)$$

5. Подставляя выражения параметров устойчивости, получено значение экстремума функции f (экстремум критической силы):

$$f = \frac{v_0^2 B_{0.red}}{l_0^2}. \quad (3)$$

Предложенный алгоритм апробирован примером определения вероятности потери устойчивости (рис. 2) конструкции железобетонной рамы при рассмотренном режиме нагружения и выполнено сопоставление расчетных и опытных значений критических сил потери устойчивости для рамы, результаты испытаний которой приведены в [3].

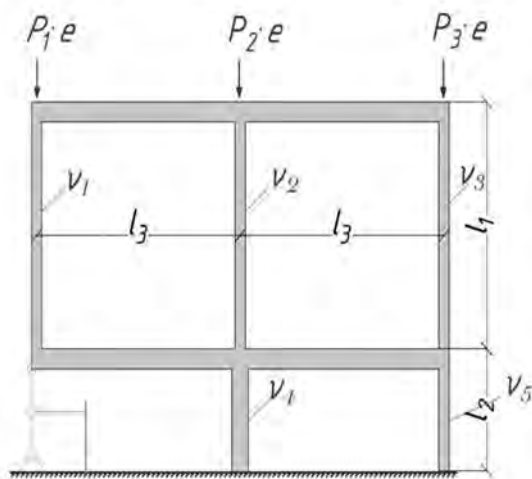


Рис. 1. Схема конструкции опытной рамы

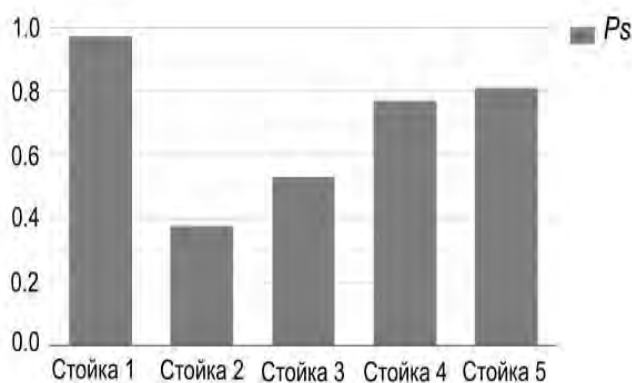


Рис. 2. Диаграмма вероятности на потери устойчивости каждой из стоек рамы после мгновенного удаления крайней колонны

Значение относительной разницы между расчетными и опытными значениями составило 5,9 %. Это позволяет сделать вывод об удовлетворительной сходимости результатов расчета по предложенной методике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчунов, В. И. Определение уровневого расстояния между трещинами в железобетонных конструкциях / В. И. Колчунов, С. С. Федоров // Строительство и реконструкция. — 2024. — № 4. — С. 14–28.
2. Гениев, Г. А. О принципе эквиградиентности и применении его к оптимизационным задачам устойчивости стержневых систем / Г. А. Гениев // Строительная механика и расчет сооружений. — 1979. — № 6. — С. 8–13.
3. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario / S. Savin [et al.] // Buildings. — 2023. — Vol. 13. — P. 908.