

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ, ВОЗВЕДЕННОГО ПО СИСТЕМЕ КУБ-2.5

Герасимов Е.П., кандидат технических наук
Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусства
имени А.Д. Крячкова

Аннотация. В статье приведены результаты расчета вероятности безотказной работы железобетонной колонны общественного здания, запроектированной по каркасной системе КУБ-2.5. Данная система широко применяется в настоящее время для возведения как общественных, так и жилых зданий. В связи с этим весьма актуальна информация об уровнях надежности основных несущих конструкций зданий, возведенных по данной системе. В качестве рассматриваемой основной несущей конструкции была выбрана колонна как самый ответственный конструктивный элемент системы. Исходные данные для расчета были приняты согласно серии, нормативным документам, а также с привлечением необходимых справочных данных. Определение вероятности безотказной работы было выполнено с применением существующих методик линеаризации и моментов на 50-летний срок эксплуатации здания.

Расчеты показали, что колонны имеют высокие значения вероятности безотказной работы. Для того чтобы утверждать, что данные значения достаточны, их необходимо сравнить с нормативными значениями, которые напрямую зависят от назначения здания и помещений.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, вероятностные методы расчета, надежность строительных конструкций, расчет по прочности.

Строительство жилых многоэтажных каркасных зданий приобрело очень широкое распространение. Это связано с рядом факторов: развитие строительных технологий, небольшие экономические затраты. Кроме того, каркасные здания очень удобны при планировке помещений.

Каркас системы КУБ-2.5 широко применяется при строительстве жилых и общественных зданий. Разработанная еще в 1980-х гг. эта система актуальна и сегодня. В состав системы входят сборные железобетонные конструкции: колонны, плиты перекрытия, лестничные марши, связи, балки, вентиляционные блоки, стенные панели. Плиты перекрытия крепятся к колоннам при помощи металлических закладных деталей. Такое крепление дает возможность создать гладкий потолок, что очень важно для жилых зданий.

Основными несущими конструкциями каркаса являются колонны и плиты перекрытия. Данные конструкции проектируются по соответствующим нормам, обеспечивающим требуемую несущую способность и жесткость. Другими словами, конструкция должна быть

надежной. Надежность определяется вероятностью безотказной работы, то есть числом от 0 до 1. Существующие нормы проектирования строительных конструкций не предоставляют возможности определить данную вероятность. Ее можно вычислить, применив вероятностные методы расчета. Определение вероятности безотказной работы колонны представляет собой большой практический интерес, так как данная конструкция является самой ответственной конструкцией каркаса.

Для примера рассмотрим одну из схем каркаса общественного здания, возведенного с применением системы КУБ-2.5 [1]. Здание имеет три этажа и техническое подполье. Сетка колонн – 6×6 м. Сечение колонн – прямоугольное с размерами 400×200 мм. В качестве продольной арматуры применены четыре стержня Ø20 мм. Класс арматуры – А-III. Бетон колонн – тяжелый класса В30 (рис. 1).

Определим вероятность безотказной работы колонны технического подполья (между отметками ±0,000 и -2,240) как самую нагруженную.

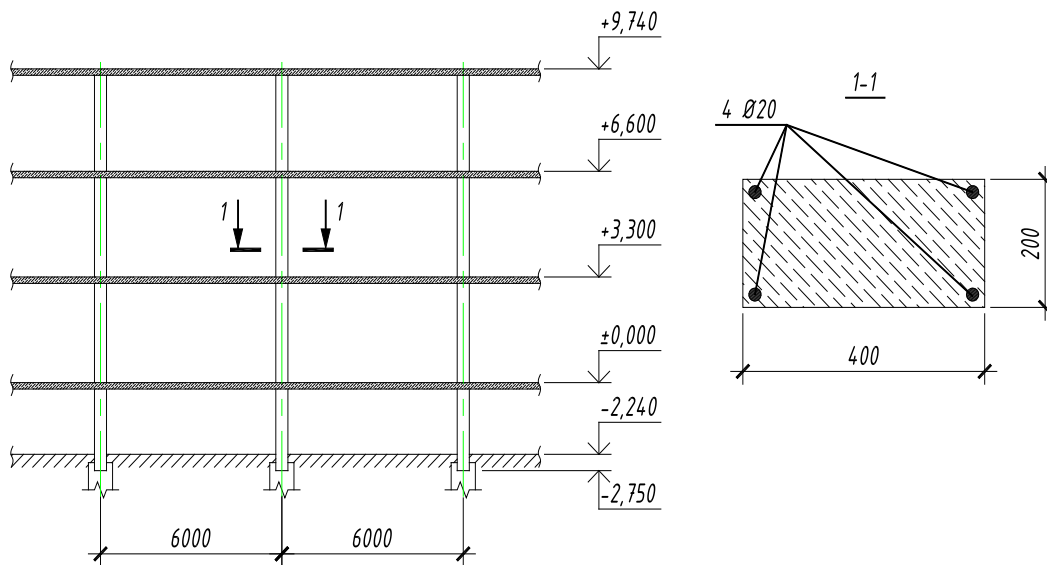


Рис. 1. Схема каркаса и поперечное сечение колонны

Исходные данные для расчета.

При заданных классах бетона (В30, $R_b = 22$ МПа) и арматуры (А-III, $R_{sc} = 365$ МПа) и нормированных коэффициентах вариации прочности бетона и арматуры ($v_b = 0,135$ и $v_{sc} = 0,05$) средние значения прочности бетона (\bar{R}_b) и арматуры (\bar{R}_{sc}) на сжатие, соответственно, составляют:

$$\bar{R}_b = \frac{R_b}{1 - 1,64 \cdot v_b} = \frac{22}{1 - 1,64 \cdot 0,135} = 28,2 \text{ МПа} = 282 \text{ кг/см}^2, \quad (1)$$

$$\bar{R}_{sc} = \frac{R_{sc}}{1 - 1,64 \cdot v_{sc}} = \frac{365}{1 - 1,64 \cdot 0,05} = 397,6 \text{ МПа} = 3976 \text{ кг/см}^2. \quad (2)$$

Среднее значение несущей способности колонны составляет:

$$\bar{N} = \varphi \cdot (\bar{R}_b \cdot A + \bar{R}_{sc} \cdot A_{sc}) = 0,9019 \cdot (282 \cdot 800 + 3976 \cdot 12,56) = 248508 \text{ кг}. \quad (3)$$

Среднее квадратическое отклонение несущей способности колонны (SN), определенное методом линеаризации [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{N}}{\partial \bar{R}_b} &= \varphi \cdot A, & \frac{\partial \bar{N}}{\partial A} &= \varphi \cdot \bar{R}_b, & \frac{\partial \bar{N}}{\partial \bar{R}_{sc}} &= \varphi \cdot A_{sc}, & \frac{\partial \bar{N}}{\partial A_{sc}} &= \varphi \cdot \bar{R}_{sc}. \\ S_N &= \sqrt{(\varphi \cdot A \cdot v_b \cdot \bar{R}_b)^2 + (\varphi \cdot \bar{R}_b \cdot S_A)^2 + (\varphi \cdot A_{sc} \cdot v_{sc} \cdot \bar{R}_{sc})^2 + (\varphi \cdot \bar{R}_{sc} \cdot S_{A_{sc}})^2} = \\ &= \varphi \cdot \sqrt{(A \cdot v_b \cdot \bar{R}_b)^2 + (A_{sc} \cdot v_{sc} \cdot \bar{R}_{sc})^2} = 0,9019 \cdot \sqrt{(800 \cdot 0,135 \cdot 282)^2 + (12,56 \cdot 0,05 \cdot 3976)^2} = \\ &= 27560 \text{ кг}. \end{aligned} \quad (4)$$

Изменчивость геометрических размеров колонны и арматуры очень малы, поэтому их средние квадратические отклонения (S_A , $S_{A_{sc}}$) приняты равными нулю.

Нагрузка от собственной массы несущих конструкций (колонн и плит перекрытия) определена с учетом средней плотности железобе-

тона (2500 кг/м³) и геометрических размеров. Размер сечения колонны – 400×200 мм, толщина плиты перекрытия – 160 мм. Изменчивость геометрических размеров не учитывается в расчете ввиду их очень малого значения.

Нагрузки от собственной массы пола и кровли зависят от их состава. После изучения

Статистические значения нагрузок, действующие на колонну

Наименование	Ед. изм.	Среднее значение		Среднее квадратическое отклонение
		Через 1 год	Через 50 лет	
Плита перекрытия	кг/м ²	400	400	0
Колонна	кг/м	200	200	0
Кровля	кг/м ²	100	100	4
Пол	кг/м ²	100	100	6
Снеговая нагрузка	кг/м ²	91	188	31,85
Полезная нагрузка	кг/м ²	118,2	180	20,4

нескольких вариантов составов конструкции пола, кровли и выполнения необходимых вычислений был сделан вывод, что среднее значение нагрузки для обеих конструкций составляет около 100 кг/м², а коэффициент вариации, соответственно, 0,06 и 0,04.

При определении снеговой нагрузки были использованы статистические данные по запасам воды в г. Новосибирске [3]. Учитывая то, что снеговая нагрузка описывается двойным экспоненциальным законом, позволяющим моделировать значение нагрузки во времени, средние значения снеговой нагрузки были определены на возможный период эксплуатации зданий в 1 год и 50 лет. Данные значения, соответственно,

равны 91 кг/м² и 188 кг/м². Среднее квадратическое отклонение не зависит от периода эксплуатации и составляет 31,85 кг/м².

В качестве значения полезной нагрузки на перекрытия было принято значение полной полезной нагрузки на основании результатов исследований параметров полезной нагрузки для помещений административных зданий [4]. Так как полезная нагрузка на перекрытие тоже может быть описана двойным экспоненциальным законом, то средние значения были определены на период эксплуатации здания в 1 год и 50 лет. Данные значения, соответственно, составляют 118,2 кг/м² и 180 кг/м². Среднее квадратическое отклонение – 20,4 кг/м².

Все нагрузки, действующие на колонну, представлены в табл. 1.

Определение вероятности безотказной работы колонны технического подполья осуществлялось при помощи метода моментов – через индекс надежности:

$$\gamma(t) = \frac{\bar{N} - \bar{N}_{нагр}(t)}{\sqrt{S_N^2 + S_{нагр}^2}} = z - \frac{2,0686 - 0,4214 \cdot z}{1 + 0,3149 \cdot z - 0,091 \cdot z^2}, \quad z = \sqrt{\ln \frac{1}{Q^2(t)}}, \quad (5)$$

где \bar{N} – среднее значение несущей способности;

$\bar{N}_{нагр}(t)$ – среднее значение нагрузки в момент времени t ;

S_N – среднее квадратическое отклонение несущей способности;

$S_{нагр}$ – среднее квадратическое отклонение нагрузки.

Расчет показал, что колонна имеет следующие вероятности безотказной работы:

– через $t = 1$ год $P_f = 0,999998$;

– через $t = 50$ лет $P_f = 0,999997$.

Полученные значения вероятности безотказной работы практически равны друг другу – к концу 50-летнего срока эксплуатации вероятность снижается очень незначительно. Для того чтобы утверждать, что полученные значения являются достаточными, их необходимо сравнить с предельно-допустимыми или нормативными значениями. Нормативные значения вероятности безотказной работы зависят прежде всего от последствий отказа: экономических и социаль-

ных. А это, в свою очередь, зависят от назначений помещений и здания: при одних значениях будут одни последствия, при других – другие. Существуют несколько предложений и методик, позволяющих назначить или рассчитать нормативные значения в зависимости от последствий отказа [2, 5–8]. В общем случае данные значения варьируются от 0,99999 и выше. Получен-

ные в настоящей статье значения вероятности безотказной работы могут указывать на степень ответственности здания. То есть назначение здания или помещений должны быть такими, чтобы нормативное значение безотказной работы колонны, определенное с учетом последствий ее отказа, не превышало фактическое значение вероятности безотказной работы.

Библиографический список

1. Унифицированная система сборно-монолитного безригельного каркаса. КУБ-2.5. НПСО «Монолит», ЦНИИПИ «Монолит». – Москва, 1990.
2. Лычев А.С. Надежность строительных конструкций. – Москва: АСВ, 2008. – 184 с.
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 20. Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993.
4. Авраменко П.А. Временные нагрузки на перекрытия многоэтажных административных зданий // Строительная механика и расчет сооружений. – 1988 – № 1. – С. 67–71.
5. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. – Москва: АСВ, 1998. – 304 с.
6. Таль К.Э. Вопросы надежности железобетонных сооружений за рубежом // Бетон и железобетон. – 1973. – № 11. – С. 43.
7. Райзер В.Д. Анализ надежности конструкций при износе несущих элементов // Строительная механика и расчет сооружений. – 2013. – № 6. – С. 16–20.
8. Ройтман А.Г. Деформации и повреждения зданий. – Москва: Стройиздат, 1987. – 160 с.

DETERMINATION OF THE RELIABILITY LEVEL OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS OF A FRAME BUILDING ERECTED ACCORDING TO THE KUB-2.5 SYSTEM

Gerasimov E.P., Candidate of Technical Sciences

Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts

Abstract. *The article presents the results of calculating the probability of trouble-free operation of a reinforced concrete column of a public building designed according to the KUB-2.5 frame system. This system is widely used nowadays for the construction of both public and residential buildings. In this regard, information about the reliability levels of the main load-bearing structures of buildings erected according to this system is very relevant. The column was chosen as the main supporting structure under consideration, as the most responsible structural element of the system. The initial data for the calculation were taken on the basis of information according to the series, regulatory documents, as well as with the involvement of the necessary reference data. The probability of failure-free operation was determined using existing linearization techniques and moments for the fifty-year life of the building.*

Calculations have shown that the columns have high values of the probability of trouble-free operation. In order to assert that these values are sufficient, they must be compared with the normative values, which directly depend on the purpose of the building and premises.

Keywords: *reinforced concrete structures, probabilistic calculation methods, reliability of building structures, strength calculation.*