

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ.

УДК 624.01:69.059

DOI: 10.22227/2305-5502.2020.4.1

О надежности сталебетонных балок при реконструкции

А.И. Долганов

ТехПроектСтрой (МСУ-1); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Решаются следующие задачи: обоснование требуемого уровня надежности для сталебетонных балок рассматриваемого реконструируемого здания, расчетных параметров для сталебетонных балок, использования вероятностных методов для оценки надежности сталебетонных балок; оценка надежности сталебетонных балок.

Материалы и методы. Исходными данными для расчетов надежности являлись результаты обследования и испытаний стальных балок, выполненных ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко в 2017 г. Расчеты выполнялись для случаев без учета и с учетом работы монолитной железобетонной плиты перекрытия. С помощью метода статистических испытаний показано, что обеспеченность снеговых нагрузок для Москвы в СП 20.13330.2016 занижена. Это уменьшает надежность контурных балок покрытий на рассматриваемом объекте.

Результаты. Для возможности сравнения результатов испытаний с вероятностными расчетами были выбраны балки Б-12, Б-45, Б-49 и Б-61. Представлены выборочные результаты расчетов. Для нормальной эксплуатации конструкций требуется, чтобы при расчетной временной нагрузке $2,4 \text{ кН/м}^2$ прогиб с вероятностью 0,9973 не превышал 8 мм.

Выводы. Сравнение опытных прогибов с расчетными продемонстрировало, что в расчетной модели следует использовать сталебетонные балки, а не стальные. При проектировании строительных конструкций важно определиться с требуемым уровнем их надежности. Надежность конструкций любого уровня ответственности зависит от обеспеченности сопротивлений материалов, из которых они изготовлены, и нагрузок, воздействующих на них. Рассмотренные контурные сталебетонные балки отвечают технологическим требованиям с заданной проектом надежностью. Результаты расчетов подтверждаются хорошей сходимостью с опытными данными. Вероятностные методы должны стать обязательными в строительном проектировании. В одних случаях это позволит уменьшить риски отказов, в других — уменьшить стоимость объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: надежность, оценка надежности, сталебетонные конструкции, сталебетонные балки, требуемый уровень надежности, вероятностные методы

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Долганов А.И. О надежности сталебетонных балок при реконструкции // Строительство: наука и образование. 2020. Т. 10. Вып. 4. Ст. 1. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2020.4.1

The reliability of steel-concrete beams in the process of reconstruction

Andrey I. Dolganov

TechProjectStroy (MSU-1); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The author solves a number of problems, including the substantiation of the required reliability level for steel-concrete beams in a reconstructed building, design parameters applicable to steel-concrete beams, use of probabilistic methods in the reliability assessment of steel-concrete beams, and reliability assessment of steel-concrete beams.

Materials and methods. The engineering data, used in the reliability analysis, included steel beam examination and testing results, obtained by the Koucherenko Central Research and Development Institute of Steel Structures in 2017. The analysis was performed for the cases that took account of or failed to take account of the behaviour of a cast-in-place reinforced concrete floor slab. A method of statistic simulation has proven that the probability values of snow loads set for Moscow by Construction regulations 20.13330.2016 are far below the true ones. This discrepancy reduces the reliability of the contour beams of the construction facility analyzed in this article.

Results. B-12, B-45, B-49 and B-61 types of beams were used to compare the testing results with probabilistic calculations. Selected calculation results are provided in the article. An 8 mm deflection, caused by the temporary design load of 2.4 kN/m^2 ensures the normal operation of a structure with a probability of 0.9973.

Conclusions. A comparison between experimentally and analytically obtained deflection values has proven that the design model must have steel-concrete beams, rather than steel ones. Whenever a building structure is designed, its reliability level must be identified. The reliability of structures, having any criticality rating, depends on the values of the resistance

probability in terms of their construction materials and the loads applied to them. Contour steel-concrete beams comply with the technology requirements and reliability values pre-set in the project documentation. Calculation results are validated by their convergence with the experimental data. Probabilistic methods should become a must in structural design. This measure can reduce the risk of failure or cut project costs.

KEYWORDS: reliability, reliability assessment, steel-concrete structures, steel-concrete beams, required reliability level, probabilistic methods

FOR CITATION: Dolganov A.I. The reliability of steel-concrete beams in the process of reconstruction. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2020; 10(4):1. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2020.4.1 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

В первоначальном варианте архитектурно-строительного проекта предусмотрены структурные фасады. Для этих фасадов установлены ограничения по прогибам контурных балок от временных нагрузок 2 мм. Вероятностными расчетами показано, что при проектных нагрузках надежность структурных фасадов очень низкая, вероятность отказов составила выше 0,85. Поэтому структурные фасады были заменены на фасады с прижимными планками, в которых допустимый прогиб балок составляет 8 мм.

В данной статье решаются следующие задачи.

1. Обоснование требуемого уровня надежности для сталебетонных балок рассматриваемого реконструируемого здания.
2. Обоснование расчетных параметров для сталебетонных балок.
3. Обоснование использования вероятностных методов для оценки надежности сталебетонных балок.
4. Оценка надежности сталебетонных балок.

Согласно определению ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований»¹ под надежностью понимается способность строительного объекта выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации. В настоящей работе надежность будем оценивать по вероятности наступления или не наступления случайного события. Будем считать, что отказа не наступает, если нормируемые расчетные параметры не выходят за границы первой или второй групп предельных состояний.

Рассматривались контурные (периметральные) балки. Функционально балки несут нагрузки от перекрытий и фасадных конструкций, выполняют функции горизонтальных связей, обеспечивают установленные проектом параметры по изгибной жесткости (прогибы и углы поворота). По требованию заказчика прогибы балок от временных нагрузок ограничены 8 мм.

Балки — сварные, выполнены из стали С345. С помощью стад-болтов балки связаны с железобетонным настилом. Бетон настила соответствует классу В30.

¹ ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. М.: Стандартинформ, 2015. 14 с.

При выполнении вероятностных расчетов будем учитывать, что механические характеристики материалов конструкции и нагрузки являются независимыми и совместными случайными величинами: появление одной случайной величины не зависит от появления другой, но изменение нагрузки меняет напряжения в сечении конструкции или коэффициент его использования.

Тогда вероятность того, что одновременно момент внутренних сил в конструкции будет не меньше момента от внешних нагрузок и прогиб будет не больше заданного, определим по выражению (1):

$$P(AB) = 1 - [P(A') + P(B') - P(A')P(B')], \quad (1)$$

где $P(A')$ и $P(B')$ — вероятности противоположных событий A и B : $P(A') = 1 - P(A)$, $P(B') = 1 - P(B)$.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обоснование требуемого уровня надежности

В РФ значение надежности механических характеристик материалов для строительных конструкций регулируется ГОСТ 27751-2014. Согласно этому документу, обеспеченность (надежность) нормативных сопротивлений материалов должна быть не ниже 0,95 (1,64σ). С учетом того, что нормативные сопротивления делятся на коэффициенты надежности по материалам, которые больше 1, обеспеченность расчетных для первой группы предельных состояний сопротивлений приближается к 0,99865 (3σ).

Определим надежность сечения строительной конструкции при $P(A') = 1 - 0,99865 = 0,00135$, $P(B') = 1 - 0,99865 = 0,00135$:

$$P(AB) = 1 - (0,00135 + 0,00135 - 0,00135 \cdot 0,00135) = 0,9973$$

или 2,78σ (для нормального закона распределения).

Так как многочисленными специальными исследованиями [1–5] показано, что обеспеченности нагрузок не превышают 3σ, то значение надежности сечений 0,9973 и следует назначать для конструкций зданий и сооружений нормального уровня ответственности.

Для объектов повышенного уровня ответственности, очевидно, вероятность безотказной работы при обеспеченностях сопротивлений и расчетной нагрузке 4σ будет 0,999937.

Для объектов пониженного уровня ответственности вероятность безотказной работы при обеспеченностях сопротивлений и расчетной нагрузке $1,64\sigma$ составит 0,901545.

Исходные данные

Исходными данными для расчетов надежности являлись результаты обследования и испытаний стальных балок, выполненных в Центральном научно-исследовательском институте строительных конструкций имени В.А. Кучеренко (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко) в 2017 г., конструктивные разделы архитектурно-строительного проекта 738.16.1-КР1.4 и 738.16.2-КР2.4.

Расчеты выполнялись для случаев без учета и с учетом работы монолитной железобетонной плиты перекрытия.

Плита имеет толщину 130 мм. В качестве несъемной опалубки использовался профилированный настил Н57-750-0,8.

При учете вклада железобетонного настила в несущую способность и жесткость перекрытия использовались понятия приведенной толщины и приведенного модуля упругости (деформации). Приведенная толщина железобетонной плиты составила 10,9 см.

Приведенный модуль упругости сталебетонной балки определялся по формуле:

$$E_{red} = (E_1 J_1 + E_2 J_2) / (J_1 + J_2), \quad (2)$$

где E_1 и E_2 , J_1 и J_2 — соответственно модули упругости стальной балки и бетона перекрытия, моменты инерции стальной балки и железобетонной плиты перекрытия, J_1 и J_2 определялись относительно центров тяжести соответственно стальной балки и железобетонного настила с учетом его эффективной ширины b'_f .

Эффективная ширина железобетонного настила устанавливалась согласно СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные» и СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции»:

$$b'_f = (2 \cdot 6h'_f + b) \leq B, \quad (3)$$

где b'_f — расчетная ширина железобетонного настила; h'_f — приведенная толщина железобетонного настила; b — ширина полки стальной балки; B — шаг балок.

В расчетной модели в целях экономии металла пластины усиления не доводились до опоры балки на $10L_k$, где L_k — длина одного конечного элемента. Нагрузки задавались по проекту с указанными выше шифрами и приведены в табл. 1.

Расчетные параметры нагрузок для вероятностных расчетов определялись по значениям из табл. 1. В рассматриваемом примере: $q_m = 8,08$ кН/м², $\sigma_q = (9,08 - 8,08)/3 = 0,33$ кН/м², $V_q = 0,33/8,08 = 0,041$. Расчетные параметры механических характеристик материалов определялись при коэффициентах вариации для стали — 0,04 и бетона — 0,135. Среднее сопротивление стали С345: $R_{ym} = 345\,000 / (1 - 1,64 \cdot 0,04) = 369\,221$ кН/м². Среднее квадратическое отклонение сопротивления стали равно, кН/м²: $\sigma_s = 267\,550 \cdot 0,04 = 10\,702$.

Метод статистических испытаний

Метод статистических испытаний является наиболее универсальным. Он может использоваться для оценки надежности как сложных, так и простых строительных систем.

В силу разных ограничений распределение случайных величин отличается от нормального закона [1–5]. Например, распределение снега плотностью 0,42 г/см³ в Москве за весь период наблюдения (на открытой местности) описывается кривой Пирсона I типа:

$$y = y_0 \left(1 + \frac{x}{l_1} \right)^{q_1} \left(1 - \frac{x}{l_2} \right)^{q_2}, \quad (4)$$

где y_0 — нормируемый множитель, $y_0 = 6,368$; l_1 и l_2 — 0,9528 и 7,9220; q_1 и q_2 соответственно равны — 0,221 и 1,840.

Значение снеговой нагрузки с обеспеченностью 0,95 по выражению (4) для Москвы равно 264 кгс/м². Обеспеченность расчетного значения

Табл. 1. Рассматриваемые нагрузки

Наименование нагрузки	кН/м ²	γ_f	кН/м ²
Собственный вес балки (Б-12)	1,11	1,05	1,17
Железобетонная плита по Н57-750-0,8, $\delta_{red} = 109$ мм	2,72	1,10	3,00
Цементно-песчаная стяжка с плиткой: $\delta = 55$ мм, $\gamma = 18$ кН/м ³	0,99	1,10	1,09
Перегородки с декоративными элементами	0,75	1,20	0,90
Оборудование, включая остекление	0,50	1,05	0,53
Полезная нагрузка	2,00	1,20	2,40
Итого:	6,97	—	7,91