

П.Д. ДЁМИНОВ¹¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЖЕСТКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ, ЛЕЖАЩЕЙ НА СТОХАСТИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНОМ ОСНОВАНИИ

Аннотация. Представлены результаты определения вероятностных параметров прочностных характеристик бетона при контроле кубиковой прочности и прочности при растяжении, а также вероятностных параметров распределения модуля деформации бетона. Проведена оценка влияния стохастической неоднородности бетона на приведенный момент инерции железобетонного сечения и получены вероятностные параметры распределения начальной изгибной жесткости балки. Проведена оценка влияния статистического характера прочности бетона на высоту сжатой зоны бетона и упругопластический момент сопротивления сечения балки и получены вероятностные параметры распределения момента образования нормальных трещин. Определена вероятность образования нормальных трещин в фундаментной балке для случаев контроля кубиковой прочности бетона и прочности бетона на растяжение. Получены характеристики распределения длины зон с трещинами в фундаментной балке, нагруженной рядом сосредоточенных случайных сил для случаев контроля кубиковой прочности бетона и прочности бетона на растяжение, что открывает возможность решения уравнения изгиба балки на упругом основании с кусочно-постоянной жесткостью в замкнутом виде.

Ключевые слова: железобетонная балка, упругое основание, момент трещиностойкости, нормальное распределение, вероятностные параметры, зоны с трещинами.

P.D. DEMINOV¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

PROBABILISTIC STIFFNESS PARAMETERS OF A REINFORCED CONCRETE BEAM LYING ON A STOCHASTICALLY INHOMOGENEOUS FOUNDATION

Abstract. The results of determining the probabilistic parameters of the strength characteristics of concrete in the control of cubic strength and tensile strength, as well as the probabilistic parameters of the distribution of the concrete deformation modulus are presented. The influence of stochastic inhomogeneity of concrete on the reduced moment of inertia of a reinforced concrete section has been evaluated, and the probabilistic parameters of the distribution of the initial bending stiffness of the beam have been obtained. The influence of the statistical nature of concrete strength on the height of the compressed zone of concrete and the elastic-plastic section modulus of the beam was evaluated, and the probabilistic parameters of the distribution of the moment of normal cracking were obtained. The probability of formation of normal cracks in the foundation beam is determined for the cases of control of the cubic strength of concrete and the tensile strength of concrete. The characteristics of the distribution of the length of zones with cracks in a foundation beam loaded with a number of concentrated random forces are obtained for the cases of controlling the cubic strength of concrete and the tensile strength of concrete, which opens up the possibility of solving the equation of beam bending on an elastic foundation with piecewise constant stiffness in a closed form.

Keywords: reinforced concrete beam, elastic foundation, crack resistance moment, normal distribution, probability parameters, zones with cracks.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчунов В.И., Дегтярь А.Н., Осовских Е.В. К оптимизации надежности внезапно поврежденных конструктивно нелинейных железобетонных конструкций // Доклады пятого всероссийского семинара «Проблемы оптимального проектирования сооружений». Новосибирск: 2005. С. 181-189.
2. Горбунов И.А., Капустин Д.Е. Расчетное сопротивление бетона и сталефибробетона в вероятностной трактовке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 1. С. 58–64.
3. Благонядин В.Л., Кудрявцев Е.П. Статистическое исследование деформаций песчаных оснований и трубопроводов подземных волноводных линий связи // Доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1964-1965 г. Секция динамики и прочности машин. М., МЭИ, 1965. С.78-86.
4. Болотин В.В. Об упругих деформациях подземных трубопроводов, прокладываемых в статистически неоднородном грунте // Строительная механика и расчет сооружений. 1965. № 1. С. 4-8.
5. Гасратова Н.А., Неверова Е.Г. Расчет надежности железобетонных элементов конструкций // Молодой ученый. 2016. № 9 (113). С. 1-10.
6. Раскатов С.Н. Расчёт балочных и плитных свайных ростверков на упругом стохастическом основании: дис. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1976. 135 с.
7. Тамразян А.Г., Орлова М.А. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов с трещинами // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 6 (53). С. 98-105.
8. Тамразян А.Г., Дудина И.В. Влияние изменчивости контролируемых параметров на надежность преднапряженных балок на стадии изготовления // Жилищное строительство. 2001. № 1. С. 16-17.
9. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях [Deformation models of reinforced concrete under special effects] // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54-60.
10. Деминов П.Д. К оценке статистических параметров железобетонной балки на упругом основании, имеющем стохастические характеристики // Строительство и реконструкция. 2018. № 5 (79). С. 5-12.
11. Деминов П.Д. Оценка вероятностных характеристик плотности вероятности предельной поперечной силы в изгибаемых железобетонных элементах // Строительство и реконструкция. 2019. №5 (85). С. 11-16.
12. Деминов П.Д. Оценка вероятности разрушения железобетонной балки, лежащей на стохастическом упругом основании с двумя коэффициентами постели по наклонному сечению от поперечной силы // Строительство и реконструкция. 2021 № 1 (93). С. 16-25.
13. Деминов П.Д. Оценка вероятности образования чрезмерных прогибов после образования трещин в железобетонной балке на стохастическом основании // Строительство и реконструкция. 2022 № 1 (99). С. 1-7.
14. Сморгачев А.А., Кереб С.А., Орлов Д.А., Барановская К.О. Влияние коэффициента вариации на надёжность строительных конструкций // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 5 (50). С. 164-167.
15. Рекомендации по оценке и обеспечению надежности транспортных сооружений. ЦНИИС Минтрансстрой СССР, М., 1989. С. 8.
16. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
17. Deminov P.D., Danilkiv F.J. Evaluation of the reliability of reinforced concrete beams on a stochastically inhomogeneous elastic foundation under the action of a non-stationary random load / XXII International Scientific Conference Civil Engineering, Tashkent, april 18-21, 2019. E3S Web Conf, Volum 97, 04052 (2019). URL:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704052> (дата обращения 15.10.2019).
18. Kanwal R.P. Generalized functions: Theory and Technique // Mathematics in Science and Engineering, 1983. Vol. 171. Pp. 1-4.
19. Киселев В.А. Расчет балок на упругом основании. М., Издательство МАДИ, 1981. С. 39-40.
20. Вержбицкий В.М. Численные методы. Математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения. Высшая школа. М., 2001. С. 255-259.
21. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М., 2019.

REFERENCES

1. Kolchunov V.I., Degtyar' A.N., Osovskih E.B. K optimizacii nadezhnosti vnezapno povrezhdennykh konstruktivno nelinejnykh zhelezobetonnykh konstrukcij [To optimization of reliability of suddenly damaged structurally non-linear reinforced concrete structures] // Doklady pyatogo vserossijskogo seminaru «Problemy optimal'nogo proektirovaniya sooruzhenij». Novosibirsk: 2005. Pp. 181-189. (in rus)
2. Gorbunov I.A., Kapustin D.E. Raschetnoe soprotivlenie betona i stalefibrobetona v veroyat-nostnoj traktovke [Calculated resistance of concrete and steel fiber concrete in a probabilistic interpretation] // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. Belgorod: 2019. No. 1. Pp. 58–64. (in rus)

3. Blagonadyozhin V.L., Kudryavcev E.P. Statisticheskoe issledovanie deformatsij peschanyh osno-vanij i truboprovodov podzemnyh volnovodnyh linij svyazi [Statistical study of deformations of sandy foundations and pipelines of underground waveguide communication lines] // Doklady nauchno-tekhnicheskoy konferencii po itogam nauchno-issledovatel'skih rabot za 1964-1965 g. Sekciya dinamiki i prochnosti mashin. Moscow., MEI, 1965. Pp.78-86. (in rus)
4. Bolotin V.V. Ob uprugih deformatsiyah podzemnyh truboprovodov, prokladyvaemyh v statisticheski neodnorodnom grunte [On elastic deformations of underground pipelines laid in statistically heterogeneous soil] // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 1965. No. 1. Pp. 4-8. (in rus)
5. Gasratova N.A., Neverova E.G. Raschet nadezhnosti zhelezobetonnyh elementov konstrukcij [Calculation of the reliability of reinforced concrete structural elements] // Molodoj uchenyj. 2016. No. 9 (113). Pp. 1-10. (in rus)
6. Raskatov S.N. Raschyot balochnyh i plitnyh svajnyh rostverkov na uprugom stohasticheskom osnovanii [Calculation of beam and slab pile grillages on an elastic stochastic foundation] : dis. ... kand. tekhn. nauk. Moscow: MISI, 1976. 135 p.
7. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. Eksperimental'nye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnyh izgibaemyh elementov s treshchinami [Experimental studies of the stress-strain state of reinforced concrete bending elements with cracks] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2015. No. 6 (53). Pp. 98-105. (in rus)
8. Tamrazyan A.G., Dudina I.V. Vliyanie izmenchivosti kontroliruemyh parametrov na nadezhnost' prednapryazhennyh balok na stadii izgotovleniya [Influence of Variability of Controlled Parameters on the Reliability of Prestressed Beams at the Manufacturing Stage] // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2001. No. 1. Pp. 16-17. (in rus)
9. Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Deformacionnye modeli zhelezobetona pri oso-byh vozdeystviyah [Deformation models of reinforced concrete under special effects] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. No. 8. Pp. 54-60. (in rus)
10. Deminov P.D. K ocnke statisticheskikh parametrov zhelezobetonnoj balki na uprugom osnova-nii, imeyushchem stohasticheskie harakteristiki [On the evaluation of the statistical parameters of a reinforced concrete beam on an elastic foundation with stochastic characteristics] // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2018. No. 5 (79). Pp. 5-12. (in rus)
11. Deminov P.D. Ocenka veroyatnostnyh harakteristik plotnosti veroyatnosti predel'noj pope-rechnoj sily v izgibaemyh zhelezobetonnyh elementah [Estimation of probabilistic characteristics of the probability density of the limiting transverse force in bending reinforced concrete elements] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2019. No. 5 (85). Pp. 11-16. (in rus)
12. Deminov P.D. Ocenka veroyatnosti razrusheniya zhelezobetonnoj balki, lezhashchej na stohasticheskom uprugom osnovanii s dvumya koeffitsientami posteli, s po naklonnomu secheniyu ot pope-rechnoj sily [Estimation of the probability of destruction of a reinforced concrete beam lying on a stochastic elastic foundation with two bed coefficients, along an oblique section from a shear force] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2021. No. 1 (93). Pp. 16-25. (in rus)
13. Deminov P.D. Ocenka veroyatnosti obrazovaniya chrezmernyh progibov posle obrazovaniya tre-shchin v zhelezobetonnoj balke na stohasticheskom osnovanii [Estimation of the probability of excessive deflection formation after the formation of cracks in a reinforced concrete beam on a stochastic foundation] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2022. No. 1 (99). Pp. 1-7. (in rus)
14. Smorchkov A.A., Kereb S.A., Orlov D.A., Baranovskaya K.O. Vliyanie koeffitsienta variacii na nadyozhnost' stroitel'nyh konstrukcij [Influence of the coefficient of variation on the reliability of building structures] // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universi-teta. 2013. No. 5 (50). Pp. 164-167. (in rus)
15. Rekomendacii po ocnke i obespecheniyu nadezhnosti transportnyh sooruzhenij [Recommendations for assessing and ensuring the reliability of transport facilities]. CNIIS Min-transstroya SSSR, M., 1989. S. 8.
16. Kobzar' A.I. Prikladnaya matematicheskaya statistika [Applied mathematical statistics]. Moscow: FIZMATLIT, 2006. 816 p.
17. Deminov P.D., Danilkiv F.J. Evaluation of the reliability of reinforced concrete beams on a stochastically inhomogeneous elastic foundation under the action of a non-stationary random load / XXII International Scientific Conference Civil Engineering, Tashkent, april 18-21, 2019. E3S Web Conf, Volum 97, 04052 (2019). URL:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704052> (дата обращения 15.10.2019).
18. Kanwal R.P. Generalized functions: Theory and Technique // Mathematics in Science and Engineering. 1983. Vol. 171. Pp. 1-4.
19. Kiselev V.A. Raschet balok na uprugom osnovanii [Calculation of beams on an elastic foundation]. Moscow: Izdatel'stvo MADI, 1981. Pp. 39-40. (in rus)
20. Verzhbickij V.M. Chislennyye metody. Matematicheskij analiz i obyknovennyye differenci-al'nyye uravneniya [Numerical methods. Mathematical analysis and ordinary differential equations]. Moscow: Vysshaya shkola, 2001. Pp. 255-259. (in rus)
21. SP 63.13330.2018 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnyye polozheniya [Concrete and reinforced concrete structures. Key points]. Moscow, 2019. (in rus)

Информация об авторе:

Дёминов Павел Дмитриевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: p-deminov@mail.ru

Information about author:

Deminov Pavel D.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate of technical sciences, associate professor of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

E-mail: p-deminov@mail.ru