

Е.В. ДОМАРОВА¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. При длительном действии нагрузки в бетоне и железобетоне происходит нарастание неупругих деформаций, что связано с ползучестью бетона. Вязкостные свойства любого бетона определяются его мерой ползучести и коэффициентом ползучести. Современные программные комплексы позволяют проводить расчет сооружений с учетом реологических свойств бетона. Для анализа НДС многоэтажного здания с учетом длительного деформирования бетона был произведен расчет 45-этажной модели каркасного здания. Характеристики ползучести бетона задавались по Eurocode 2. Результаты расчета показали, что ползучесть бетона при его длительном деформировании приводит к перераспределению усилий в элементах здания, нарастанию прогибов перекрытий и увеличению продольного изгиба внецентренно-сжатых элементов. Проведен сравнительный анализ коэффициентов ползучести высокопрочных бетонов по Eurocode 2 и СП 63.13330.2018, который показал необходимость экспериментального исследования значений, указанных в СП 63.13330.2018 ввиду единого коэффициента для бетонов класса B60-B100.

Ключевые слова: деформации ползучести, коэффициент ползучести, напряженно-деформированное состояние, длительное действие нагрузки.

E.V. DOMAROVA¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

INFLUENCE OF CREEP ON THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE MULTISTORY BUILDINGS

Abstract. With long-term action of the load in concrete and reinforced concrete, an increase in inelastic deformations occurs, which is associated with the creep of concrete. The viscous properties of any concrete are determined by its measure of creep and creep coefficient. Modern software systems make it possible to calculate structures taking into account the rheological properties of concrete. To analyze the stress-strain state of a multi-storey building, taking into account the long-term deformation of concrete, a 45-storey model of a frame building was calculated. The creep characteristics of concrete were set according to Eurocode 2. The results of the calculation showed that the creep of concrete during its long-term deformation leads to a redistribution of forces in the building elements, an increase in floor slab deflections and an increase in the buckling of eccentrically compressed elements. A comparative analysis of the creep coefficients of high-strength concretes according to Eurocode 2 and SP 63.13330.2018 was carried out, which showed the need for an experimental study of the values specified in SP 63.13330.2018 due to a single coefficient for concretes of class B60-B100.

Keywords: creep deformations, creep coefficient, stress-strain state, long-term effect.

Введение

Расчет многоэтажных зданий по предельным состояниям 1-й и 2-й групп следует выполнять на неблагоприятные сочетания одновременного действия нагрузок разной степени длительности. При длительном действии нагрузки в бетоне и железобетоне происходит нарастание неупругих деформаций, что связано с ползучестью бетона. В связи с

© Домарова Е.В., 2022

этим для обеспечения надежности и долговечности конструкций при их проектировании необходимо учитывать реологические свойства бетона.

На ползучесть бетона влияют следующие факторы: водоцементное отношение, масштабный фактор, влажность окружающей среды, уровень действующих в бетоне напряжений, возраст бетона при загрузении, наличие микротрещин в материале, жесткость крупного заполнителя.

Ползучесть бетона была и остается актуальным предметом научных исследований отечественных и зарубежных ученых [1,2]. Теоретическое описание ползучести бетона привело к развитию трех направлений: теории наследственности, теории старения и наследственная теория старения.

В соответствии с теорией наследственности деформации ползучести зависят от времени действия внешней нагрузки, при этом изменение возраста бетона не оказывает никакого влияния. Однако физико-механические свойства бетона меняются с течением времени. Реологические свойства бетона зависят от его возраста: ползучесть бетона, загруженного в молодом возрасте, развивается интенсивнее, чем при загрузении в зрелом возрасте. В связи с этим в теории старения основной фактор, влияющий на деформации ползучести, - это возраст бетонного образца при приложении внешней нагрузки. Экспериментальные исследования показывают, что эти теории в отдельности не полностью отражают вязкостные свойства бетона. В связи с этим возник синтез этих двух теорий – наследственная теория старения [3]. Учет в феноменологической теории ползучести наследственного старения бетона большего количества факторов, отражающих действительные свойства этого материала, приводит к существенному усложнению математического аппарата. Так как уравнения теории старения и наследственности проще, то для решения практических задач чаще используют односторонние теории старения и наследственности.

Поиск оптимального выражения для меры ползучести и уравнений ползучести для разных видов бетона остается актуальной задачей исследования. Уравнения ползучести и выражения для меры ползучести, а также анализ их характерных особенностей, представлены в работах [1,4,5,6].

В связи с развитием высотного строительства и применением для вертикальных несущих элементов нижних этажей высокопрочных бетонов проводятся экспериментальные исследования для определения параметров ползучести таких бетонов [7,8,9,10,11].

Аналитические зависимости, описывающие изменение деформаций в изгибаемых железобетонных элементах при длительном действии нагрузки, рассмотрены в [12,13,14]. Вопросы деформирования сжатых элементов с учетом ползучести нашли отражение в [15,16].

Экспериментальные исследования [17] длительной устойчивости железобетонных стоек позволили получить графики нарастания прогибов во времени, представленных на рисунке 1. Действующее в железобетонных колоннах усилие должно обеспечивать безопасный характер их деформирования в течение всего периода эксплуатации здания, который не должен выходить за пределы участка 2-3 (рисунок 1). В соответствии с [18] для учета влияния прогиба на несущую способность сжатых элементов при расчетах используется коэффициент η , определяемый по (1):

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}, \quad (1)$$

где N_{cr} - условная критическая сила, определяемая по (2):

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 D}{l_0^2}, \quad (2)$$

l_0 – расчетная длина элемента,

D – жесткость железобетонного элемента в предельной стадии, определяемая по формулам (3) и (4):

для элементов любой формы сечения

$$D = \frac{0,15E_b I}{\varphi_l(0,3 + \delta_e)} + 0,7E_s I_s, \quad (3)$$

для элементов прямоугольного сечения с арматурой, расположенной у наиболее сжатой и у растянутой (менее сжатой) грани элемента

$$D = E_b b h^3 \left[\frac{0,0125}{\varphi_l(0,3 + \delta_e)} + 0,175\mu\alpha \left(\frac{h_0 - a'}{h} \right)^2 \right]. \quad (4)$$

В соответствии с (3,4) жесткость железобетонного сжатого элемента зависит от длительности действия внешней нагрузки (φ_l), количества продольной арматуры (μ), эксцентриситета приложения сжимающей силы (δ_e), модуля упругости бетона E_b .

При продолжительном действии нагрузки значение модуля деформаций бетона определяют по формуле (5)

$$E_{b,\tau} = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,cr}} \quad (5)$$

где $\varphi_{b,cr}$ – коэффициент ползучести бетона, принимаемый при продолжительном действии нагрузки согласно [18] в зависимости от класса бетона на сжатие и относительной влажности воздуха окружающей среды.

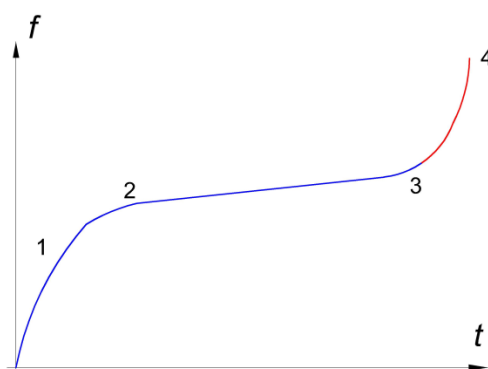


Рисунок 1 – Развитие прогибов во времени при длительном деформировании сжатых гибких железобетонных стержней

При расчетах железобетонных элементов при длительном действии внешней нагрузки вопрос определения их напряженно-деформированного состояния с учетом ползучести не имеет окончательного решения. В связи с этим расчет конструкций с учетом длительного деформирования бетона во времени является актуальной задачей, решение которой имеет практическую значимость для проектирования железобетонных зданий, наиболее распространенных в гражданском строительстве [19,20].

Модели и методы

Современные программные комплексы позволяют учитывать влияние ползучести на параметры напряженно-деформированного состояния элементов многоэтажных зданий. В широко распространенном на территории РФ программном комплексе ЛИРА САПР предлагается три закона ползучести бетона при задании законов нелинейного деформирования материалов:

1) 41 - степенная зависимость, где учитывается определение $\varphi(t, t_0)$ в соответствии с Приложением В [21]. Исходными данными, задаваемыми проектировщиками, являются:

φ_0 – теоретический коэффициент ползучести (во сколько раз увеличивается деформация за бесконечное время действия нагрузки);

β_H – коэффициент, зависящий от относительной влажности и теоретического размера элемента.

Коэффициент ползучести, учитываемый в расчете, определяется по формуле (6):

$$\varphi(T) = \varphi_0 \left(\frac{T}{T + \beta_H} \right)^{0.3} \quad (6)$$

где T – количество суток (возраст бетона), по прошествии которых требуется учесть влияние ползучести.

2) 44 -кусочно-линейный закон, для которого задаются пары значений для следующих параметров:

– количество суток (возраст бетона) T ;

– коэффициент ползучести $\varphi(T)$, соответствующий количеству суток T .

3) 54 - кусочно-линейный закон термползучести. Учет влияния температуры на ползучесть необходим для большепролетных сооружений.

Для дальнейшего расчета был выбран 41 закон задания ползучести для уменьшения количества ручных вычислений. В соответствии с [21] условный коэффициент ползучести определяется по формуле (7):

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_0), \quad (7)$$

где φ_{RH} — коэффициент, учитывающий влияние относительной влажности воздуха на условный коэффициент ползучести:

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH / 100}{0,1 \sqrt[3]{h_0}} \text{ для } f_{cm} \leq 35 \text{ МПа,}$$

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH / 100}{0,1 \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \text{ для } f_{cm} > 35 \text{ МПа,}$$

RH — относительная влажность воздуха окружающей среды, %;

$\beta(f_{cm})$ — коэффициент, учитывающий влияние предела прочности при сжатии бетона на условный коэффициент ползучести:

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}},$$

f_{cm} — средняя прочность при сжатии бетона, МПа, в возрасте 28 сут;

$\beta(t_0)$ — коэффициент, учитывающий влияние возраста бетона при начале нагружения на условный коэффициент ползучести:

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,20}},$$

h_0 — условный приведенный размер элемента, мм:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u},$$

где A_c — общая площадь поперечного сечения бетона;

u —периметр элемента, контактирующий с атмосферой;

β_H — коэффициент, учитывающий относительную влажность воздуха (RH , %) и условный размер элемента (h_0 , мм) и определяемый по формуле:

$$\beta_H = 1,5 \left[1 + (0,012RH)^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \leq 1500 \text{ для } f_{cm} \leq 35 \text{ МПа,}$$

$$\beta_H = 1,5 \left[1 + (0,012RH)^{18} \right] \cdot h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 \text{ для } f_{cm} > 35 \text{ МПа,}$$

$\alpha_{1/2/3}$ — коэффициенты для учета влияния прочности бетона:

$$\alpha_1 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.7}; \alpha_2 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.2}; \alpha_3 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.5}.$$

Для анализа влияния ползучести бетона при длительном действии нагрузки на напряженно-деформированное состояние элементов многоэтажного здания был проведен расчет модели 45-этажного монолитного здания каркасной конструктивной системы с пролетами 6 м с безбалочными перекрытиями толщиной 20 см, выполненными из бетона класса В30. Поперечные сечения, классы бетона вертикальных несущих конструкций, а также параметры армирования всех элементов были подобраны по результатам расчета здания на основные сочетания нагрузок. Для задания диаграмм состояния бетона и арматуры использовался 14 – кусочно-линейный закон деформирования. Прочностные и деформационные характеристики были назначены в соответствии с [18]. Степенной закон ползучести бетона задавался по характеристикам Eurocode2. Для анализа изменения параметров НДС элементов влияние ползучести в расчете учитывалось по истечении 28, 180, 365 и 1000 суток после приложения нагрузки.

Результаты исследования и их анализ

В высотных зданиях вертикальные несущие элементы ввиду возникновения в них больших сжимающих продольных усилий выполняют из высокопрочных бетонов. Согласно [18] для бетонов класса В60-В100 и относительной влажности воздуха окружающей среды 40-75% коэффициент ползучести равен 1,4. При этом для бетонов средней прочности с увеличением класса бетона коэффициент ползучести снижается, что приводит к мысли, что такая же тенденция должна сохраняться и для высокопрочных бетонов. Для подтверждения были посчитаны условные коэффициенты ползучести бетона по [21] для классов С55/67 и С80/95 для колонны сечением 70х70 см и относительной влажности воздуха 50% при приложении нагрузки в возрасте 28 сут. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Коэффициент ползучести по Eurocode2

Класс бетона	f_{cm} , МПа	Φ_{RH}	$\beta(f_{cm})$	Φ_0
C55/67	63	1,37	2,11	1,42
C80/95	88	1,14	1,79	1,00

Как видно из таблицы 1, коэффициент ползучести для высокопрочных бетонов не постоянен, а при прочих равных условиях снижается с повышением прочности бетона.

Результаты нелинейного расчета пространственной модели многоэтажного здания с учетом длительного действия нагрузки в ПК ЛИРА САПР представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Напряженно-деформированное состояние элементов 45-этажного каркасного здания

Параметр	Без учета ползучести	С учетом ползучести 28 суток	С учетом ползучести 180 суток	С учетом ползучести 365 суток	С учетом ползучести 100 суток
Прогиб плиты перекрытия первого этажа, мм	13,36	22,25	25,27	26,66	27,79
Продольная сила в средней колонне первого этажа, кН	-12894	-12743	-12623	-12559	-12502
Продольная сила в угловой колонне первого этажа, кН	-4248	-4244	-4280	-4302	-4323
Продольная сила в крайней колонне первого этажа, кН	-7754	-7808	-7829	-7840	-7848
Изгибающий момент в плите перекрытия первого этажа в середине ячейки, кНм/м: M_x M_y	9,52 14,56	9,47 13,13	9,55 12,88	9,61 12,79	9,65 12,73
Изгибающий момент в плите перекрытия первого этажа в приопорной зоне, кНм/м: M_x M_y	-46,98 -51,20	-49,42 -55,18	-50,00 -55,89	-50,21 -56,13	-50,37 -56,29
Продольный изгиб крайней колонны 1-го этажа, мм	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$4,1 \cdot 10^{-2}$

Из анализа данных, представленных в таблице 2, можно сделать вывод о перераспределении усилий как в вертикальных элементах, так и в горизонтальных. Продольная сжимающая сила в средней колонне первого этажа уменьшается с течением времени с 12894 кН до 12502 кН, перераспределяясь на соседние колонны, усилие в которых возрастает с течением времени. В плитах перекрытия происходит перераспределение изгибающего момента с пролетных сечений на опорные. При этом прогибы плиты перекрытий увеличиваются в 2,1 раз по сравнению с расчетом без учета ползучести (рисунок 2). Кроме того, в крайних колоннах, находящихся в условиях внецентренного сжатия, происходит возрастание продольного изгиба вертикальной оси элемента в 1,8 раза.

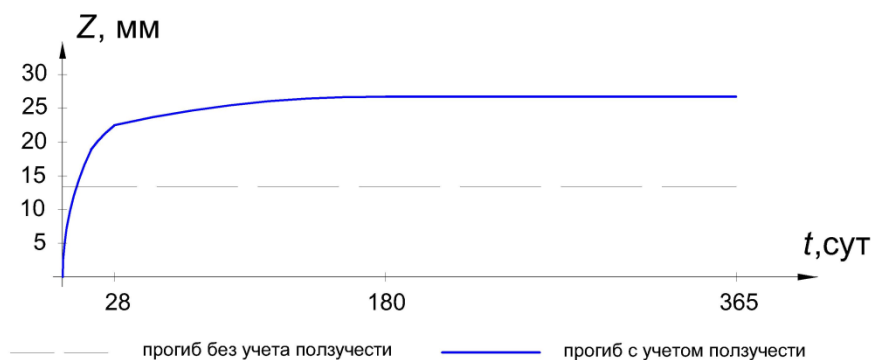


Рисунок 2 – Изменение прогиба плиты перекрытия 1-го этажа при учете ползучести

Выводы

Проведенное автором статьи исследование доказывает, что при практических расчетах железобетонных зданий необходимо учитывать ползучесть бетона при длительном деформировании, приводящую к перераспределению усилий в элементах здания, ввиду чего усилия в некоторых элементах увеличиваются. При недостаточном запасе прочности такие элементы могут потерять несущую способность, что приведет к возникновению аварийной ситуации. Кроме того, ползучесть способствует увеличению прогибов изгибаемых элементов и продольного изгиба внецентренно сжатых колонн.

Рассчитанные по Eurocode2 коэффициенты ползучести для высокопрочных бетонов уменьшаются при повышении класса бетона, что расходится СП 63.13330.2018, где этот коэффициент для бетонов В60-В100 имеет постоянное значение. В этой связи представляется актуальным проведение экспериментальных исследований для корректного определения параметров ползучести высокопрочных бетонов.

Определение напряженно-деформированного состояния конструкций при длительном действии нагрузок с учетом перераспределения усилий, вызванного ползучестью, имеет важное значение для обеспечения долговечности, надежности и соответствия сооружения требованиям первой и второй групп предельных состояний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылов С. Б., Арленинов П. Д. Современные исследования в области теории ползучести бетона // Вестник НИЦ Строительство. 2018. № 1(16). С. 67-75.
2. Li Y., Qiang S., Xu W., Hua X., Xu C., Lai J., Chen B. Verification of concrete nonlinear creep mechanism based on meso-damage mechanics // Construction and Building Materials. 2021. 276.122205. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122205>
3. Тамразян А.Г., Есаян С.Г. Механика ползучести бетона. Москва: МГСУ, 2012. 490 с.
4. Тамразян А.Г. К расчету железобетонных элементов с учетом ползучести и старения на основе реологической модели бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 7. С. 26-27.
5. Yao Zhou Concrete creep and thermal effects on the dynamic behavior of a concrete-filled steel tube arch bridge // Journal of Vibroengineering. Vol. 16. Issue 4. 2014. 1735-1744 p.
6. Санжаровский Р.С., Манченко М.М. Нелинейная теория ползучести бетона и железобетона и современные нормы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 1. С. 23-35.
7. Мишина А.В., Безгодов И.М., Андрианов А.А. Прогнозирование предельных деформаций ползучести сверхвысокопрочного сталефибробетона // Вестник МГСУ. 2012. № 12. С. 66—70.
8. Барабанщиков Ю.Г., Архарова А.А., Терновский М.В. Бетон с пониженной усадкой и ползучестью // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №7 (22). С. 152-165.
9. Карпенко Н.И., Каприелов С.С., Петров А.Н., Безгодов И.М., Моисеенко Г.А., Степанов М.В., Чилин И.А. Исследование физико-механических и реологических свойств высокопрочных сталефибробетонов из самоуплотняющихся смесей // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году: Сб. научн. тр. РААСН. Т.2.М.: Издательство АСВ. 2018. С.237-246. doi:10.22337/9785432302663-237-246
10. Карпенко Н.И., Мишина А.В., Травуш В.И. Влияние возраста на физико- механические и реологические характеристики высокопрочного сталефибробетона // Строительство и реконструкция. 2015. №4(60). С. 23-31.
11. Степанов М.В., Моисеенко Г.А. Развитие экспериментального подхода к определению меры ползучести мелкозернистого высокопрочного бетона и сталефибробетона при рациональном содержании фибры // Строительство и реконструкция. 2018. № 3(77). С. 98-104.
12. Травуш В.И., Мурашкин В.Г. Влияние ползучести на распределение деформаций и напряжений в изгибаемом элементе // Строительство и реконструкция. 2017. №2. С.57-70.
13. Тамразян А.Г. Жесткость изгибаемых железобетонных элементов с учетом нелинейной ползучести высокопрочного бетона на основе вязко-упругой модели наследственного старения // Вестник МГСУ. 2011. № 2. С. 121—126.
14. Sapountzakis E., Katsikadelis J. Creep and Shrinkage Effect on the Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Slab-and-Beam Structures. European Conference on Computational Mechanics. Munich, Germany. 1999. P.370.

15. Елистратов В.Н. К вопросу расчета сжатых железобетонных элементов с учетом мгновенной нелинейности и нелинейной ползучести бетона // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6.
16. Тамразян А.Г. Динамическая устойчивость сжатого железобетонного элемента как вязкоупругого стержня // Вестник МГСУ. 2011. № 1-2. С. 193-196.
17. Пекус-Сахновский Д. Н. Экспериментальное исследование несущей способности центрально сжатых гибких железобетонных стоек при длительном воздействии нагрузки // Строительные конструкции. К.:Будівельник, 1965. Вып. 2. С. 98–108.
18. СП 63.13330.2018. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
19. Андросова Н.Б., Колчунов В.И. Живучесть рамно-стержневого железобетонного каркаса здания в запредельных состояниях // Строительство и реконструкция. 2021. №5(97). С. 40-50. doi:10.33979/2073-7416-2021-97-5-40-50
20. Androsova N., Kolchunov V. Survivability Exposition of a Long-Term Deformable Reinforced Concrete Building Frame Under Accidental Actions. In: Vatin N., Roshchina S., Serdjuks D. (eds) Proceedings of MPCPE 2021. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 182. Springer, Cham. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85236-8_29
21. EN 1992-1-1 (2004): Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.

REFERENCES

1. Krylov S.B., Arleninov P.D. Sovremennye issledovaniya v oblasti teorii polzuchesti betona [Modern research in the field of the theory of concrete creep]. *Vestnik NITs Stroitel'stvo*. 2018. No 1(16). С. 67-75. (rus)
2. Li Y., Qiang S., Xu W., Hua X., Xu C., Lai J., Chen B. Verification of concrete nonlinear creep mechanism based on meso-damage mechanics. *Construction and Building Materials*. 2021. 276. 122205. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122205>
3. Tamrazyan A.G., Esayan S.G. Mekhanika polzuchesti betona. Moscow: MGSU, 2012. 490 p. (rus)
4. Tamrazyan A.G. K raschetu zhelezobetonnykh elementov s uchetom polzuchesti i stareniya na osnove reologicheskoi modeli betona [On the calculation of reinforced concrete elements with due regard for creep and aging on the basis of rheological model of concrete]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2012. No 7. Pp. 26-27. (rus)
5. Yao Zhou Concrete creep and thermal effects on the dynamic behavior of a concrete-filled steel tube arch bridge. *Journal of Vibroengineering*, Vol. 16, Issue 4. 2014. Pp. 1735-1744.
6. Sanzharovskii R.S., Manchenko M.M. Nelineinaya teoriya polzuchesti betona i zhelezobetona i sovremennye normy [Nonlinear theory of concrete and reinforced concrete creep and modern standards]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstrukttsii i sooruzhenii*. 2017. No 1. Pp. 23-35. (rus)
7. Mishina A.V., Bezgodov I.M., Andrianov A.A. Prognozirovanie predel'nykh deformatsiy polzuchesti sverkhvysokoprochnogo stalefi brobetona [Prediction of maximum creep strain of high performance steel fiber reinforced concrete]. *Vestnik MGSU*. 2012.No. 12. Pp. 66—70. (rus)
8. Barabanshchikov Yu.G., Arkharova A.A., Ternovskii M.V. Beton s ponizhennoi usadkoi i polzuchest'yu [Concrete with the lowered shrinkage and creep]. *Construction of Unique Buildings and Structure*. 2014.No 7 (22). Pp.152-165. (rus)
9. Karpenko N.I., Kaprielov S.S., Petrov A.N., Bezgodov I.M., Moiseenko G.A., Stepanov M.V., Chilin I.A. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh i reologicheskikh svoystv vysokoprochnykh stalefibrobetonov iz samouplotnyayushchikhsya smesei [Research of physical-mechanical and rheological properties of high-strength steel-fiber concretes from self-compacting mixtures]. *Fundamental'nye, poiskovyie i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noi otrasli Rossiiskoi Federatsii v 2017 godu: Sb. nauchn. tr. RAASN. T.2. Moscow: Izdatel'stvo ASV*. 2018. Pp.237-246. (rus) doi:10.22337/9785432302663-237-246
10. Karpenko N.I., Mishina A.V., Travush V.I. Vliyanie vozrasta na fiziko- mekhanicheskie i reologicheskie kharakteristiki vysokoprochnogo stalefibrobetona [Influence of age on physical-mechanical and rheological characteristics of high-strength steel fiber reinforced concrete]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2015. No 4(60). Pp. 23-31.(rus)
11. Stepanov M.V., Moiseenko G.A. Razvitie eksperimental'nogo podkhoda k opredeleniyu mery polzuchesti melkozernistogo vysokoprochnogo betona i stalefibrobetona pri ratsional'nom sodержanii fibry [Development of an experimental approach to determining the measure of creep of fine-grained high-strength concrete and steel-fiber-reinforced concrete with a rational fiber content]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2018. No 3(77). Pp. 98-104.(rus)
12. Travush V.I., Murashkin V.G. Vliyanie polzuchesti na raspredelenie deformatsii i napryazhenii v izgibaemom elemente [Influence of creep on the distribution of strains and stresses in a bending element]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2017. No 2. Pp.57-70. (rus)
13. Tamrazyan A.G. Zhestkost' izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov s uchetom nelineinoy polzuchesti vysokoprochnogo betona na osnove vyazko-uprugoi modeli nasledstvennogo stareniya [Rigidity of bending reinforced

concrete elements taking into account nonlinear creep of high strengths concrete on the basis of is viscous - elastic model of hereditary ageing]. *Vestnik MGSU*. 2011. No 2. Pp. 121—126. (rus)

14. Sapountzakis E., Katsikadelis J. Creep and Shrinkage Effect on the Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Slab-and-Beam Structures. European Conference on Computational Mechanics. München, Germany. 1999. Pp.370.

15. Elistratov V.N. K voprosu rascheta szhatykh zhelezobetonnykh elementov s uchetoм mgnovennoi nelineinosti i nelineinoy polzuchesti betona [On the issue of calculation of compressed reinforced concrete elements, taking into account instantaneous non-linearity and non-linear creep of concrete]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013. No 6. (rus)

16. Tamrazyan A.G. Dinamicheskaya ustoychivost' szhatogo zhelezobetonного элемента kak vyazkoupругого sterzhnya [Dynamic stability of a compressed reinforced concrete element as a viscoelastic rod]. *Vestnik MGSU*. 2011. No 1-2. Pp. 193-196. (rus)

17. Pekus-Sakhnovskii D.N. Eksperimental'noe issledovanie nesushchei sposobnosti tsentral'no szhatykh gibkikh zhelezobetonnykh stoek pri dlitel'nom vozdеistvii nagruzki [Experimental study of increased capacity of centrally compressed flexible reinforced concrete props under prolonged load]. *Stroitel'nye konstruksii*. Kiev: Budivel'nik, 1965. No 2. Pp.98–108. (rus)

18. Russian Building Code SP 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. Generalprovisions. (rus)

19. Androsova N.B., Kolchunov V.I. Zhivuchest' ramno-sterzhneвого zhelezobetonного karkasa zdaniya v zapredel'nykh sostoyaniyakh [Viability of a frame-rod reinforced concrete framework of a building in limiting states]. *Stroitel'stvo i rekonstruksiya*. 2021. No5(97). Pp. 40-50. (rus) doi: 10.33979/2073-7416-2021-97-5-40-50

20. Androsova N., Kolchunov V. Survivability Exposition of a Long-Term Deformable Reinforced Concrete Building Frame Under Accidental Actions. In: Vatin N., Roshchina S., Serdjuks D. (eds) Proceedings of MPCPE 2021. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 182. Springer, Cham. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85236-8_29

21. EN 1992-1-1 (2004): Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.

Информация об авторе:

Домарова Екатерина Владимировна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,

старший преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: cathie_p@mail.ru

Information about author:

Domarova Ekaterina V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
senior teacher of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: cathie_p@mail.ru