

А.Д. ИСТОМИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

## ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ И ОТТАИВАНИЯ НА ДИАГРАММУ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СЖАТОГО БЕТОНА

*Аннотация.* При расчете железобетонных конструкций широко применяются деформационные модели материалов. При этом используются диаграммы бетона при сжатии с учетом нисходящей ветви. Аналитическое описание диаграммы работы бетона связано с определением таких параметров бетона, как начальный модуль упругости; призматическая прочность; предельные деформации сжатия в вершине диаграммы; значение деформаций на нисходящей ветви при 85% от призматической прочности. Воздействие знакопеременных температур на железобетонные конструкции зданий и сооружений приводит к развитию деструктивных процессов в бетоне. При этом мало исследованным остается вопрос о влиянии циклического замораживания и оттаивания на полные диаграммы бетона, включая предельные деформации сжатия. Определяющим фактором, влияющим на деформативно-прочностные свойства бетона в условиях замораживания и оттаивания, является его влажность. В связи с этим проведены исследования по влиянию циклических замораживаний и оттаиваний на диаграммы состояния бетона различной влажности, результаты которых представлены в данной работе.

**Ключевые слова:** циклическое замораживание и оттаивание, диаграмма деформирования, влажность бетона, предельные деформации, прочность, модуль упругости.

A.D. ISTOMIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

## THE EFFECT OF CYCLIC FREEZING AND THAWING ON THE DEFORMATION DIAGRAM OF COMPRESSED CONCRETE

*Abstract.* Deformation models of materials are widely used in the calculation of reinforced concrete structures. At the same time, concrete compression diagrams are used, taking into account the descending branch. The analytical description of the concrete work diagram is associated with the determination of such concrete parameters as the initial modulus of elasticity; prismatic strength; extreme compression deformations at the top of the diagram; the value of deformations on the descending branch at 85% of the prismatic strength. The influence of alternating temperatures on reinforced concrete structures of buildings and structures leads to the development of destructive processes in concrete. At the same time, the question of the effect of cyclic freezing and thawing on the complete diagrams of concrete, including the ultimate compression deformations, remains poorly investigated. The determining factor affecting the deformation and strength properties of concrete under freezing and thawing conditions is its humidity. In this regard, studies have been conducted on the effect of cyclic freezing and thawing on the diagrams of the state of concrete of various humidity, the results of which are presented in this paper.

**Keywords:** cyclic freezing and thawing, deformation diagram, concrete moisture, ultimate deformations, strength, modulus of elasticity.

### Введение

В качестве обобщенной характеристики свойств бетона при одноосном напряженном состоянии принимается диаграмма деформирования бетона при кратковременной нагрузке [1, 2].

Диаграмма деформирования бетона при осевом кратковременном сжатии имеет криволинейное очертание с нисходящей ветвью. Различают экспериментальные диаграммы деформирования « $\sigma_b - \varepsilon_b$ », полученные опытным путем и расчетные зависимости « $\sigma_b - \varepsilon_b$ », которые аппроксимируют экспериментальные данные заданной функцией.

В настоящее время при расчете железобетонных конструкций широко используется деформационные модели материалов. При этом используются диаграммы бетона при сжатии с учетом нисходящей ветви [3]. Для описания полной диаграммы деформирования бетона в условиях осевого кратковременного сжатия при выполнении нелинейных расчетов конструкций используются различные аналитические зависимости [4-17]. Область работы бетона на нисходящем участке диаграммы деформирования при расчете ограничивают уровнем напряжений  $\sigma_b = 0,85R_b$ . Аналитическое описание зависимости « $\sigma_b - \varepsilon_b$ » связано с определением таких параметров бетона, как начальный модуль упругости; призматическая прочность; предельные деформации сжатия ( $\varepsilon_{b0}$ ) при  $\sigma_b = R_b$ , то есть в вершине диаграммы; значение деформаций на нисходящей ветви диаграммы  $\varepsilon_{bu}$  при  $\sigma_b = 0,85R_b$  соответствующее разрушению бетона.

Аналитическая зависимость для описания и построения диаграмм бетона при сжатии в РФ принята на основании предложений Карпенко Н.И. и др. авторов [2, 5]:

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{\nu_b E_b}, \quad (1)$$

где  $\sigma_b$  - текущее напряжение в бетоне,

$\nu_b$  - коэффициент изменения секущего модуля (упругости) при сжатии,

$E_b$  - начальный модуль упругости бетона.

В отечественных нормах для обычных тяжелых бетонов принято среднее значение предельных деформации в вершине диаграммы  $\varepsilon_{b0} = 200 \cdot 10^{-5}$ . Предельные деформации бетона при сжатии в зависимости от его прочности согласно предложению [18] определяются по формуле (2):

$$\varepsilon_{b0} = -\frac{B}{E_b} \lambda \left[ 1 + \left( 0,8 - 0,15 \frac{B^2}{10000} \right) \lambda B / 60 + 0,2 \lambda / B \right] \cdot (0,12 + 1,03 B / 60 + 0,2 / B)^{-1}, \quad (2)$$

где  $B$  - класс бетона по прочности на сжатие,

$\lambda$  - безразмерный коэффициент, зависящий от вида бетона ( $\lambda = 1,0$  - для тяжелого бетона).

Аналитическое описание диаграмм сжатого бетона в Европе представлено зависимостью [19] (3):

$$\frac{\sigma_b}{R_b} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta}, \quad (3)$$

$$\eta = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{b0}}$$

где  $\varepsilon_{b0}$  - относительный уровень деформаций,

$$k = \frac{1,1 E_b |\varepsilon_{b0}|}{R_b}$$

- коэффициент, учитывающий кривизну диаграммы деформирования бетона.

В европейских нормах [19] величина предельных деформаций сжатия зависит от прочности бетона.

Воздействие знакопеременных температур на железобетонные конструкции зданий и сооружений приводит к развитию деструктивных процессов в бетоне [20-23]. Во многих случаях ограничиваются исследованием влияния циклических замораживаний и оттаиваний (ЦЗО) на прочность бетона при сжатии и начальный модуль упругости. При этом мало исследованным остается вопрос о влиянии ЦЗО на полные равновесные диаграммы бетона, включая предельные деформации сжатия. Определяющим фактором, влияющим на деформативно-прочностные свойства бетона в условиях замораживания и оттаивания, является его влажность. В связи с этим проведены исследования по влиянию циклических замораживаний и оттаиваний на диаграммы состояния бетона различной влажности.

#### Материалы и методы

В качестве опытных образцов использовались бетонные призмы с размерами 10x10x40 см. Для изготовления опытных образцов использовался тяжелый бетон естественного твердения. Состав бетона по весу был принят следующим Ц/Ц:П/Ц:Щ/Ц:В/Ц = 1:2,2:4,7:0,6. Расход цемента при этом составил 250 кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

Для приготовления бетона использовался гранитный щебень фракции 5-15 мм, речной песок с модулем крупности  $M_{кр} = 2,1$ , портландцемент марки 400. Образцы изготавливались в металлической опалубке. В течение 28 суток образцы хранились во влажной среде при температуре  $+20 \pm 5^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности 75... 80%.

Возраст бетона к моменту испытаний составил 180 суток. Перед испытанием в термокамере бетонные образцы разбивались на три серии. Образцы первой серии имели естественную влажность ( $W = 3,64\%$ ). Образцы второй серии перед испытанием водонасыщались в течение двух недель ( $W = 5,05\%$ ). Образцы третьей серии перед испытанием водонасыщались в течение четырех трех недель ( $W = 6,4\%$ ). Влажность бетона определялась на пробах, полученных дроблением образцов после их испытания на кратковременное сжатие.

Испытания на кратковременное сжатие проводилось как перед циклическим замораживанием-оттаиванием (0 циклов), так и после 20 циклов, 40 циклов и 60 циклов замораживания и оттаивания, в термобарокамере ТВВ-2000. Понижение температуры бетона образцов происходило от  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $-50^{\circ}\text{C}$  до полного выравнивания температуры по сечению испытываемых образцов. Один цикл замораживания-оттаивания составлял 12 часов. Результаты испытания бетонных кубов показали, что марка бетона по морозостойкости составила F300.

#### Результаты и обсуждение

Деформативные и прочностные характеристики, полученные при испытании бетонных призм на сжатие в нормальных условиях ( $+15...20^{\circ}\text{C}$ ) после 0, 20, 40 и 60 циклов замораживания-оттаивания приведены таблице 1.

Таблица 1 - Деформативные и прочностные характеристики бетона при его влажности ( $W$ )

ЦЗО, С	$W = 3,64\%$			$W = 5,05\%$			$W = 6,4\%$		
	$R_b$ , МПа	$E_b \cdot 10^{-3}$ , МПа	$\varepsilon_{b0} \cdot 10^5$	$R_b$ , МПа	$E_b \cdot 10^{-3}$ , МПа	$\varepsilon_{b0} \cdot 10^5$	$R_b$ , МПа	$E_b \cdot 10^{-3}$ , МПа	$\varepsilon_{b0} \cdot 10^5$
0	37,9	30,7	200	35,6	30,41	205	28,7	24,04	210
20	37,4	30,38	204	29,2	25,55	220	26,3	18,79	251
40	35,1	29,76	208	24,0	20,82	240	23,4	14,30	349
60	34,2	28,08	214	22,1	15,63	267	19,2	11,09	430

Из приведенных результатов видно, что при 60 ЦЗО предельные деформации сжатого бетона с влажностью  $W = 3,64\%$  увеличиваются с  $200 \cdot 10^{-5}$  от. ед. до  $214 \cdot 10^{-5}$ , то есть на 7%; с влажностью  $W = 5,05\%$  увеличиваются с  $205 \cdot 10^{-5}$  от. ед. до  $267 \cdot 10^{-5}$ , то есть на 30%; с влажностью  $W = 6,4\%$  увеличиваются с  $210 \cdot 10^{-5}$  от. ед. до  $430 \cdot 10^{-5}$ , то есть на 105%. Таким образом, при 60 циклов замораживания-оттаивания увеличение влажности бетона с  $W = 3,64\%$  до  $W = 6,4\%$  приводит к росту предельных деформаций сжатого бетона ( $\varepsilon_{b0}$ ) в 2,0 раза.

На рисунках 1, 2 представлены результаты испытаний в виде зависимости предельных деформаций сжатого бетона различной влажности от количества циклов замораживания-оттаивания.

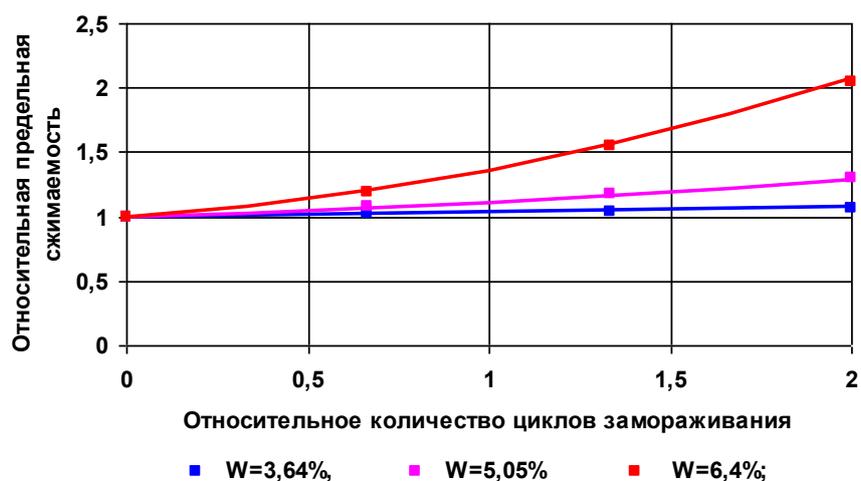


Рисунок 1 – Относительная предельная сжимаемость бетона при ЦЗО

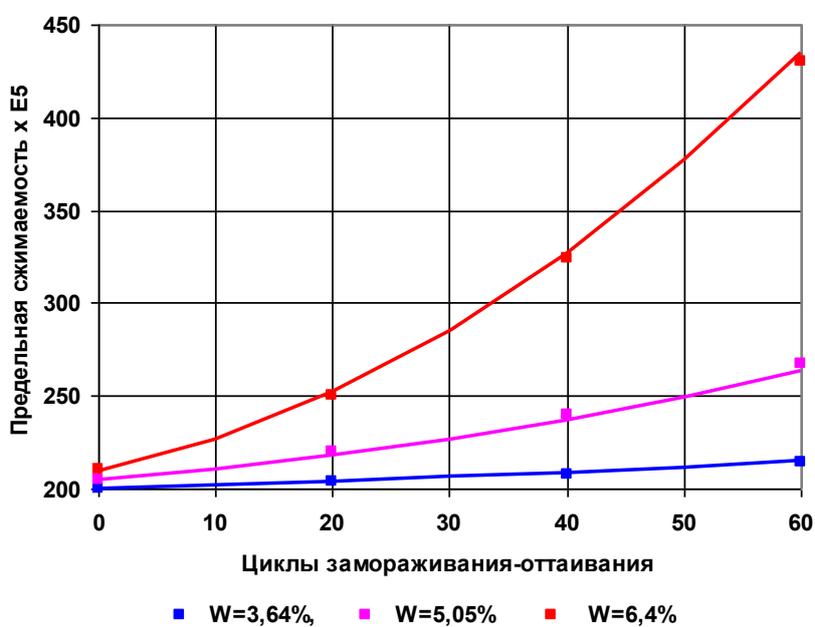


Рисунок 2 – Предельные деформации сжатого бетона при ЦЗО

В результате аппроксимации представленных опытных данных получена зависимость для предельных деформаций сжатого бетона ( $\varepsilon_{b0,c}$ ) при ЦЗО в зависимости от относительного количества циклов замораживания-оттаивания и влажности бетона (4):

$$\varepsilon_{b0,c} = (a_w \eta_c^2 + b_w \eta_c + 1) \cdot \varepsilon_{b0}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_{b0}$  - предельные деформации сжатого бетона до ЦЗО, которые в зависимости от влажности бетона определяются по формуле (5):

$$\varepsilon_{b0} = 187,45 e^{0,0177W}, \quad (5)$$

$a_w$ ,  $b_w$  - эмпирические коэффициенты, которые в зависимости от влажности бетона определяются по формулам (6, 7):

$$a_w = 4 \cdot 10^{-5} e^{1,3503W}, \quad (6)$$

$$b_w = 2 \cdot 10^{-3} e^{0,7019W}; \quad (7)$$

W - влажность бетона, %.

Для инженерных расчетов выражение (1) может быть представлено в виде:

$$\varepsilon_{b0,c} = (6 \cdot 10^{-6} C^2 + k_w 8 \cdot 10^{-4} C + 1) \cdot \varepsilon_{b0}, \quad (8)$$

где  $k_w$  - коэффициент, учитывающий важность бетона (таблица 2).

Таблица 2 - Значения коэффициента  $k_w$  в зависимости от условий эксплуатации

Переменное замораживание и оттаивание в условиях		
воздушной среды	эпизодического водонасыщения	водонасыщенного состояния
$W \leq 4\%$	$4\% < W \leq 5,5\%$	$W > 5,5\%$
$k_w = 1,0$	$k_w = 5,5$	$k_w = 19,375$

Результаты расчетов  $\varepsilon_{b0,c}$  для бетонов различной влажности представлены на рисунке 3 в виде соответствующих сплошных линий.

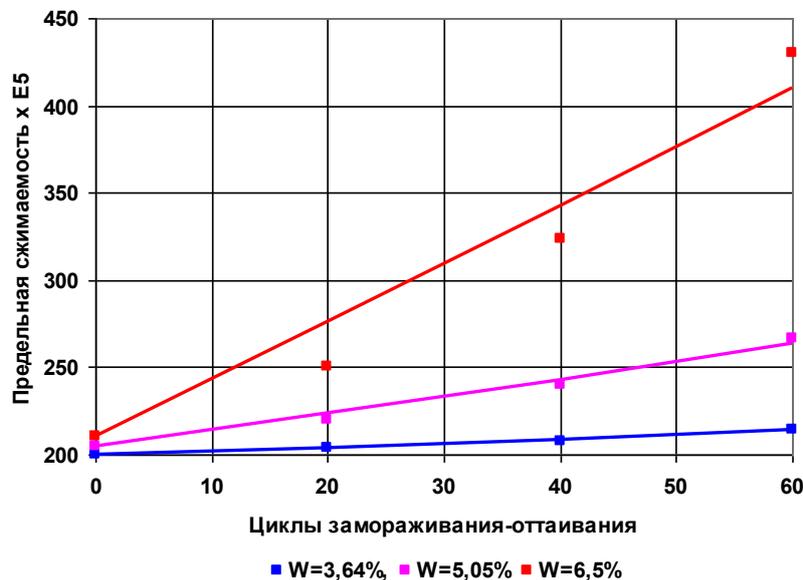


Рисунок 3 – Предельные деформации сжатого бетона при ЦЗО, рассчитанные по формуле (8)

Отклонение опытных данных предельных деформаций от значений, рассчитанных по формуле (8) составляет -5%....+10%.

На рисунках 4-6 представлены графики деформирования бетона при кратковременном сжатии после соответствующего количества циклов замораживания и оттаивания в зависимости от влажности бетона.

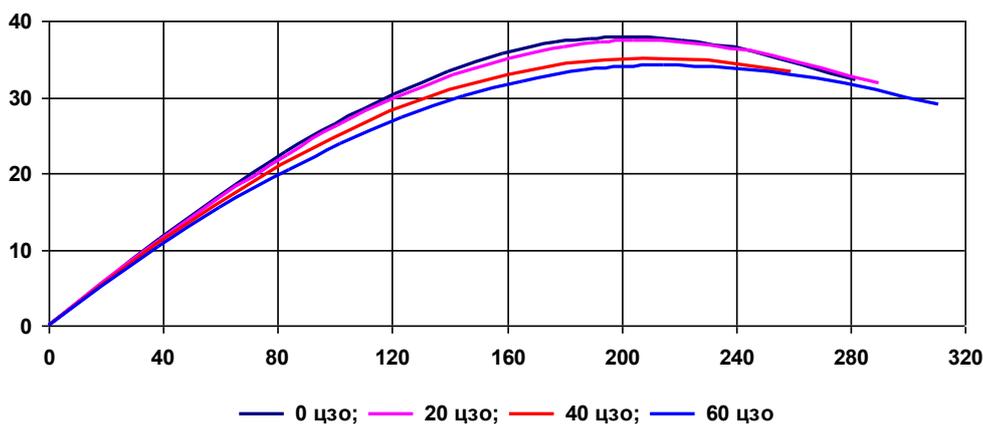


Рисунок 4 – Диаграммы деформирования сжатого бетона ( $W=3,64\%$ )

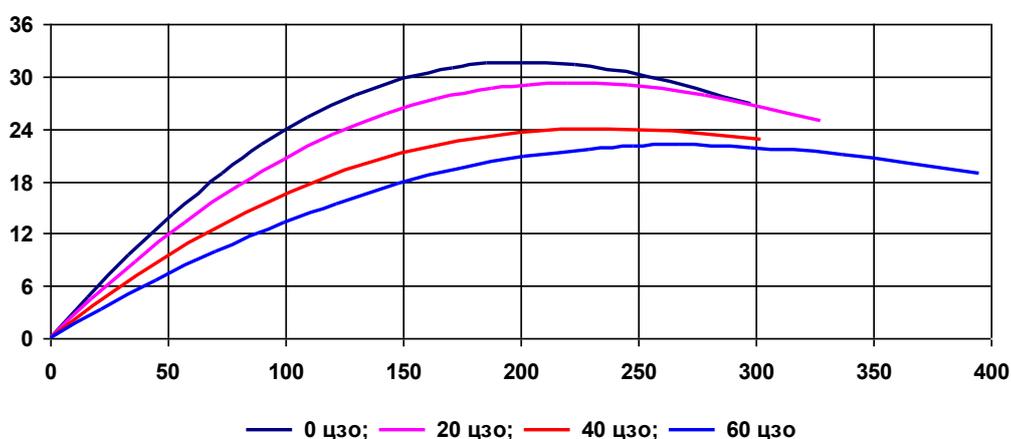


Рисунок 5 – Диаграммы деформирования сжатого бетона ( $W=5,05\%$ )

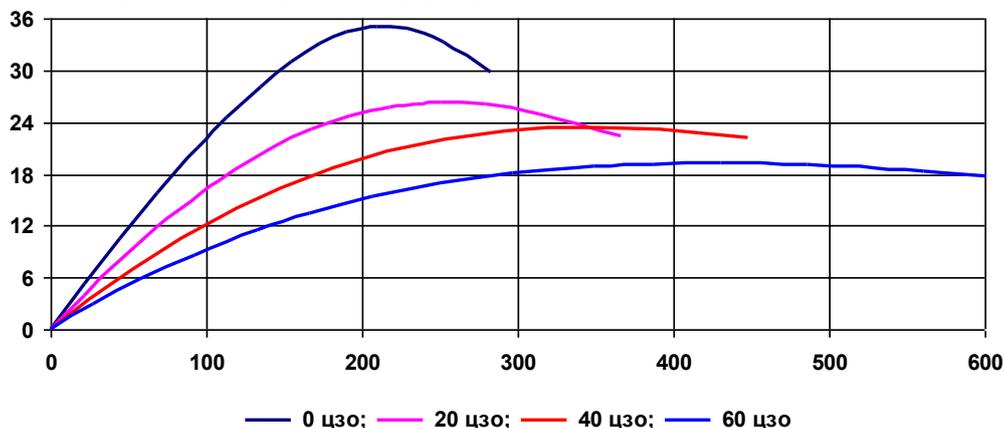


Рисунок 6 – Диаграммы деформирования сжатого бетона ( $W=6,4\%$ )

Из приведенных результатов видно, что при 60 ЦЗО начальный модуль упругости и призмная бетона соответственно уменьшаются на 10% и 8,6% при влажности 3,64%; на 48,6% и 38% при влажности 5,05%; на 54% и 33% при влажности 6,4%. Предельные деформации в вершине диаграммы  $\epsilon_{b0}$  и на нисходящей ветви диаграммы  $\epsilon_{bu}$  при  $\sigma_b = 0,85R_b$  бетона соответственно увеличиваются на 7% и 10% при влажности 3,64%; на 30% и 34% при влажности 5,05%; на 105% и 142% при влажности 6,4%. Таким образом, при 60 циклов замораживания-оттаивания увеличение влажности бетона с 3,64% до 6,4%

приводит к уменьшению модуля упругости и призмочной прочности соответственно на 60% и 41%; к росту предельных деформаций сжатого бетона  $\varepsilon_{b0}$  и  $\varepsilon_{bu}$  на 100% и 119%.

### Заклучение

На основании проведенных экспериментальных исследований влияния циклического замораживания и оттаивания на параметрические точки диаграммы деформирования сжатого бетона установлено, что существенное влияние оказывает влажность бетона. Предложена зависимость для вычисления предельных деформаций сжатого бетона в зависимости от количества циклов замораживания-оттаивания и влажностных условий эксплуатации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Харьков, ХГУ. 1968. 324 с.
2. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 411 с.
3. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радаикин О.В. Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной модели // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 28-30.
4. Байков В.Н., Горбатов С.В., Димитров З.А. Построение зависимости между напряжениями и деформациями сжатого бетона по системе нормируемых показателей // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура. 1977. № 6. С. 15–18.
5. Карпенко Н.И., Мухамендиев Т.А., Петров Н.А. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры // Сб. тр. «Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций», М. НИИЖБ, 1986. С. 7-25.
6. Михайлов В.В. Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона // Бетон и железобетон. 1993. № 3. С. 26.
7. Залесов А.С., Чистяков Е.А., Ларичева И.Ю. Деформационная расчетная модель железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил // Бетон и железобетон. 1996.
8. Мурашкин Г.В., Мордовский С.С. Применение диаграмм деформирования для расчета несущей способности внецентренно сжатых железобетонных элементов // Жилищное строительство. Москва, 2013. № 3. С. 38–40.
9. Майоров В.И., Рацириниву Де Руссель Ж. Исследование и аналитическое описание диаграммы работы бетона при расчете железобетонных конструкций по деформационной модели // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. 2000. № 3. С. 97-102.
10. Михайлов В.В., Емельянов М.П., Дудолоадов Л.С., Митасов В.М. Некоторые предложения по описанию диаграммы деформаций бетона при загрузении // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура. 1983. № 2. С. 23-27.
11. Мурашкин Г.В., Мурашкин В.Г. Моделирование диаграммы деформирования бетона и схемы НДС // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура. 1997. № 10. С. 4–6.
12. Бабич Е.М., Крусь Ю.А., Гарницкий Ю.В. Новые аппроксимации зависимости «напряжения–деформации», учитывающие нелинейность деформирования бетонов // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура. 1996. № 2. С. 39-44.
13. Карпенко Н.И., Ерышев В.А., Латышева Е.В. Методика расчета параметров деформирования бетона при разгрузке с напряжений сжатия // Вестник МГСУ. 2014. № 3. С. 168-178.
14. Совгира В.В. Полные равновесные диаграммы деформирования одноосно сжатого и растянутого бетона // Проблемы современного бетона и железобетона. Минск, 2016. Вып. 8. С. 270–289.
15. Назаренко В.Г., Боровских А.В. Диаграмма деформирования бетонов с учетом ниспадающей ветви // Бетон и железобетон. 1999. № 2. С. 18–22.
16. Дзюба Р.Р. Исследование диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций // Символ науки. 2016. № 3. С. 42-45.
17. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Квазилинейные уравнения силового сопротивления и диаграмма  $\sigma$ – $\varepsilon$  бетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 6. С. 40–44.
18. Карпенко С.Н., Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Диаграммный метод расчета стержневых железобетонных конструкций, эксплуатируемых при воздействии низких климатических (до  $-70$  °С) и технологических (до  $-150$  °С) температур // Строительные науки. № 1. 2017. С. 104-108.
19. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по ЕВРОНОРМАМ. Научное издание. М.: Из-во АСВ. Строительство и архитектура. 2011. 216 с.
20. Струлев В.М., Яркин Р.А. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Вестник ТГТУ. 2003. Т. 9. № 2. С. 277-281.

21. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 93-103.
22. Пинус Б.И., Пинус Ж.Н., Хомякова И.В. Изменение конструктивных свойств бетонов при охлаждении и замораживании // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 2(97). С. 111-116.
23. Истомин А.Д., Назаров Т.А. Влияние природных циклов замораживания — оттаивания на прочность и деформативность бетона // Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 52-56.

## REFERENCES

1. Bondarenko V.M. Nekotory`e voprosy` nelinejnoj teorii zhelezobetona. Xar`kov, XGU. 1968. 324 p.
2. Karpenko N.I. Obshhie modeli mexaniki zhelezobetona. M.: Strojizdat, 1996. 411 p.
3. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radajkin O.V. Analiz i sovershenstvovanie krivolinejny`x diagramm deformirovaniya betona dlya rascheta zhelezobetonny`x konstrukcij po deformacionnoj modeli // Promy`shlennoe i grazhdanskoe stroitel`stvo. 2013. No. 1. Pp. 28-30.
4. Bajkov V.N., Gorbato V.S., Dimitrov Z.A. Postroenie zavisimosti mezhdru napryazheniyami i deformacijami szhatogo betona po sisteme normiruemy`x pokazatelej // Izv. vuzov. Ser.: Str-vo i arxitektura. 1977. No. 6. Pp. 15–18.
5. Karpenko N.I., Muxamendiev T.A., Petrov N.A. Isxodny`e i transformirovanny`e diagrammy` deformirovaniya betona i armatury` // Sb. tr. «Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie betonny`x i zhelezobetonny`x konstrukcij», M. NIIZhB, 1986. Pp. 7-25.
6. Mixajlov V.V. Raschet prochnosti normal`ny`x sechenij izgibaemy`x e`lementov s uchedom polnoj diagrammy` deformirovaniya betona // Beton i zhelezobeton. 1993. No. 3. Pp. 26.
7. Zalesov A.S., Chistyakov E.A., Laricheva I.Yu. Deformacionnaya raschetnaya model` zhelezobetonny`x e`lementov pri dejstvii izgibayushhix momentov i prodol`ny`x sil // Beton i zhelezobeton, 1996.
8. Murashkin G.V., Mordovskij S.S. Primenenie diagramm deformirovaniya dlya rascheta nesushhej sposobnosti vncentrenno szhaty`x zhelezobetonny`x e`lementov // Zhilishhnoe stroitel`stvo. Moskva, 2013. No. 3. Pp. 38–40.
9. Majorov V.I., Racirinivu De Russel` Zh. Issledovanie i analiticheskoe opisanie diagrammy` raboty` betona pri raschete zhelezobetonny`x konstrukcij po deformacionnoj modeli // Vestnik RUDN, seriya Inzhenerny`e issledovaniya. 2000. No. 3. Pp. 97-102.
10. Mixajlov V.V., Emel`yanov M.P., Dudoladov L.S., Mitasov V.M. Nekotory`e predlozheniya po opisaniyu diagrammy` deformacij betona pri zagruzhennii // Izv. vuzov. Ser.: Str-vo i arxitektura. 1983. No. 2. Pp. 23-27.
11. Murashkin G. V., Murashkin V. G. Modelirovanie diagrammy` deformirovaniya betona i sxemy` NDS // Izv. vuzov. Ser.: Str-vo i arxitektura. 1997. No. 10. Pp. 4–6.
12. Babich E. M., Krus` Yu. A., Garniczkiy Yu. V. Novy`e approksimacii zavisimosti «napryazheniya–deformacii», uchity`vayushhie nelinejnost` deformirovaniya betonov // Izv. vuzov. Ser.: Str-vo i arxitektura. 1996. No. 2. Pp. 39-44.
13. Karpenko N.I., Ery`shev V.A., Laty`sheva E.V. Metodika rascheta parametrov deformirovaniya betona pri razgruzke s napryazhenij szhatiya // Vestnik MGSU. 2014. No. 3. Pp. 168-178.
14. Sovgira V.V. Polny`e ravnovesny`e diagrammy` deformirovaniya odnoosno szhatogo i rastyanutogo betona // Problemy` sovremennogo betona i zhelezobetona. Minsk. 2016. V. 8. Pp. 270–289.
15. Nazarenko V. G., Borovskix A.V. Diagramma deformirovaniya betonov s uchedom nispadayushhej vetvi // Beton i zhelezobeton. 1999. No. 2. Pp. 18–22.
16. Dzyuba R.R. Issledovanie diagramm deformirovaniya betona dlya rascheta zhelezobetonny`x konstrukcij // Simvol nauki. 2016. No. 3. Pp. 42-45.
17. Bondarenko V.M., Rimshin V.I. Kvazilinejny`e uravneniya silovogo soprotivleniya i diagramma  $\sigma$ – $\epsilon$  betona // Stroitel`naya mexanika inzhenerny`x konstrukcij i sooruzhenij. 2014. No. 6. Pp. 40–44.
18. Karpenko S.N., Karpenko N.I., Yarmakovskij V.N. Diagrammny`j metod rascheta sterzhnevny`x zhelezobetonny`x konstrukcij, e`kspluatiruemy`x pri vozdejstvii nizkix klimaticheskix (do –70 °C) i texnologicheskix (do –150 °C) temperatur // Stroitel`ny`e nauki. 2017. No. 1. Pp. 104-108.
19. Almazov V.O. Proektirovanie zhelezobetonny`x konstrukcij po EVRONORMAM. Nauchnoe izdanie. – M.:Iz-vo ASV. Stroitel`stvo i arxitektura. 2011. 216 p.
20. Strulev V.M., Yarkin R.A. O sovremenny`x metodax obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonny`x konstrukcij // Vestnik TGTU. 2003. T. 9. No. 2. Pp. 277-281.
21. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskij V.N., Erofeev V.T. O sovremenny`x metodax obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonny`x konstrukcij // Academia. Arxitektura i stroitel`stvo. 2015. No. 1. Pp. 93-103.

22. Pinus B.I., Pinus Zh.N., Xomyakova I.V. Izmenenie konstruktivny`x svojstv betonov pri oxlazhdenii i zamorazhivanii // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. 2015. No. 2(97). Pp. 111-116.

23. Istomin A.D., Nazarov T.A. Vliyanie prirodny`x ciklov zamorazhivaniya — ottaivaniya na prochnost` i deformativnost` betona // Tekhnologiya tekstil`noj promy`shlennosti. 2019. No. 3(381). Pp. 52-56.

**Информация об авторе:**

**Истомин Андрей Дмитриевич**

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

E-mail: [nauka.07@mail.ru](mailto:nauka.07@mail.ru)

**Information about author:**

**Istomin Andrey D.**

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Reinforced concrete and stone structures».

E-mail: [nauka.07@mail.ru](mailto:nauka.07@mail.ru)