

УДК 624.142

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ЦИКЛОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ - ОТТАИВАНИЯ
НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ БЕТОНА**

**THE INFLUENCE OF NATURAL CYCLES FREEZING - THAWING
ON DURABILITY AND DEFORMABILITY OF CONCRETE**

А.Д. ИСТОМИН, Т.А. НАЗАРОВ

A.D. ISTOMIN, T.A. NAZAROV

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

(National Research Moscow State University of Civil Engineering)

E-mail: nauka.07@mail.ru

В районах Сибири, Якутии особенно актуален вопрос долговечности железобетонных конструкций при циклическом замораживании и оттаивании для обеспечения их нормальной эксплуатации. При этом остается открытым вопрос о связи лабораторных и природных циклов замораживания-оттаивания и их влиянии на прочностные характеристики бетона. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования по влиянию длительного воздействия природных циклов замораживания и оттаивания на деформативно-прочностные характеристики бетона, результаты которых представлены в данной статье.

In the districts of Siberia, Yakutia the question of longevity of reinforce-concrete constructions is especially actual at the cyclic freezing and thawing for providing of their normal exploitation. Thus a question remains open about connection of laboratory and natural cycles of freezing-thawing and their influence on durability of concrete. In this connection experimental studies were undertaken on influence of the protracted influence of natural cycles of freezing and thawing on a deformability and durability of concrete, the results of that are presented in this article.

Ключевые слова: бетон, замораживание, оттаивание, природные циклы, температура, влажность, прочность, модуль деформаций.

Keywords: concrete, freezing, thawing, natural cycles, temperature, humidity, durability, module of deformations.

Современное развитие экономики Российской Федерации неразрывно связано с освоением районов Северного региона страны. Это в свою очередь предполагает широкое строительство железобетонных зданий и сооружений в суровых природно-климатических условиях [1], [2]. При этом особенно актуален вопрос повышения долговечности железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях циклического замораживания и оттаивания (ЦЗО), для обеспечения их нормальной эксплуатации в течение всего жизненного цикла [3...7].

В настоящее время вопрос о долговечности железобетонных конструкций, подвергающихся воздействию циклических замораживаний и оттаиваний, решается путем обеспечения марки бетона по морозостойкости. При этом регламентируется определение фактической прочности бетонных образцов-кубов после лабораторных циклов замораживания-оттаивания с фиксированной нижней температурой и временем процесса замораживания-оттаивания. Однако в естественных климатических условиях скорость, диапазон и амплитуда изменения температуры окружающей среды различны и носят случайный характер. Связь между лабораторными и природными циклами нельзя считать установленной, поскольку существующие рекомендации неопределенны и противоречивы. При этом остается открытым вопрос о связи лабораторных и природных циклов замораживания-оттаивания и их влияния на деформативно-прочностные характеристики бетона [8], [9]. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования по влиянию длительного воздействия природных циклов замораживания и оттаивания на деформативно-прочностные характеристики бетона.

Программой исследований предусматривалось испытание стандартных бетонных призм, подверженных воздействию лабораторных и природных циклов заморажива-

ния-оттаивания. Для проведения исследования были изготовлены бетонные призмы с размерами 100×100×400 мм. Длительность воздействия природных циклов составила 22 года.

В ходе испытаний образцов были проанализированы суточные данные по изменению температуры воздуха в период с 1995 по 2016 гг. в Московской области, где проводились испытания. Для градации циклов замораживания-оттаивания были выделены циклы в зависимости от их нижней температуры. Полученные данные представлены на рис. 1 – распределение количества циклов замораживания-оттаивания в зависимости от температуры.

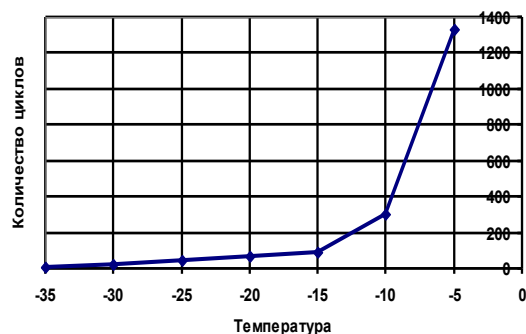


Рис. 1

Коэффициент условий работы (R_{bc}/R_b), учитывающий влияние циклических замораживаний и оттаиваний на прочность бетона при сжатии, рекомендуется определять по зависимости:

$$\gamma_{bc} = 1 - 0,325k_R \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |T_{ci}|^m C_i}{C_F + (649\sigma_b^3 - 1453\sigma_b^2 + 650\sigma_b)} \cdot (1)$$

Коэффициент условий работы (E_{bc}/E_b), учитывающий влияние циклических замораживаний и оттаиваний на начальный модуль упругости бетона, рекомендуется определять по зависимости:

$$\beta_{bc} = 1 - 0,425k_E \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |T_{ci}|^m C_i}{C_F + (649\bar{\sigma}_b^3 - 1453\bar{\sigma}_b^2 + 650\bar{\sigma}_b)}. \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) приняты следующие обозначения: k_R , k_E – коэффициенты, зависящие от марки бетона по морозостойкости и среды эксплуатации (табл. 1); T_{ci} – нижняя отрицательная температура в i -х циклах замораживания-оттаивания; $m=4,1-\lg C_F^{0,95}$ – коэффициент перехода от числа циклов по стандартной методике испытаний (-18°C) к

числу природных циклов; $\bar{\sigma}_b = \frac{\sigma_b}{R_b}$ – уровень нагружения сжатого бетона; C_i – количество циклов замораживания-оттаивания, имеющих температуру T_{ci} ; C_F – количество циклов замораживания-оттаивания, соответствующих марке бетона по морозостойкости, определенное по основному методу (-18°C).

Т а б л и ц а 1

Условия эксплуатации конструкции	W, %	$k_R \cdot 10^4$ $k_E \cdot 10^4$	Марка бетона по морозостойкости					
			$\leq F100$	F200	F300	F400	F500	$\geq F600$
Переменное замораживание и оттаивание в условиях воздушной среды	≤ 3	k_R	0,25	0,5	0,75	1,2	3	14
		k_E	0,22	0,7	1,7	3,5	8	20
	4	k_R	0,4	1,2	2,3	4,2	9,6	24
		k_E	0,38	1,5	3,2	8	24	125
Переменное замораживание и оттаивание в условиях эпизодического водонасыщения	5	k_R	0,5	2,4	4,3	7,5	16	60
		k_E	0,6	3	8	20	80	350
Переменное замораживание и оттаивание в водонасыщенном состоянии	6	k_R	0,7	4	5,5	10	40	130
		k_E	1	10	25	50	160	600
	≥ 7	k_R	0,9	5,3	9	14	63	243
		k_E	1,4	18	42	80	350	1000

Опытные данные испытания бетонных призм после 22 лет хранения в нормальных и природных климатических условиях представлены в табл. 2. Здесь же представлены

соответствующие коэффициенты условий работы бетона, вычисленные по формулам (1) и (2).

Т а б л и ц а 2

Наименование	W, %	Нормальные условия		После ЦЗО		Опыт		Расчет	
		R_b , МПа	$E_b \cdot 10^3$, МПа	R_{bc} , МПа	$E_{bc} \cdot 10^3$, МПа	$\frac{R_{bc}}{R_b}$	$\frac{E_{bc}}{E_b}$	$\frac{R_{bc}}{R_b}$	$\frac{E_{bc}}{E_b}$
Бетон естественной влажности	4,41	31,6	27,9	28,8	23,7	0,91	0,85	0,90	0,87
Бетон водонасыщенный	6,33	27,5	24,5	22,1	16,9	0,80	0,69	0,83	0,69

Из результатов, представленных в табл. 2, видно, что у бетонных образцов с естественной влажностью, после 22 лет действия природных циклов замораживания-оттаивания призмная прочность уменьши-

лась на 9%, а модуль упругости – на 15% по сравнению с образцами, хранившимися в нормальных условиях. Призмная прочность водонасыщенных бетонных образцов после 22 лет действия природных циклов

замораживания-оттаивания уменьшилась на 20%, а модуль упругости – на 31% по сравнению с образцами, хранившимися в нормальных условиях. Расчетные значения коэффициентов γ_{bc} и β_{bc} , полученные по формулам (1) и (2), практически не отличаются от опытных значений.

Относительная призмная прочность водонасыщенного бетона представлена на рис. 2 – диаграмма коэффициентов условий работы γ_{bc} при влажности $W=6,33\%$.

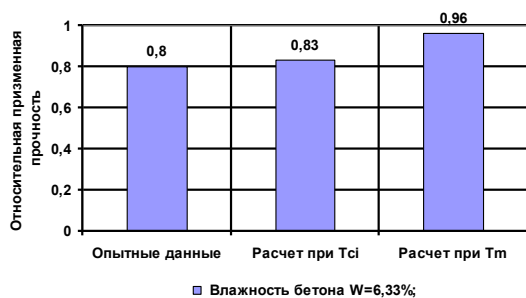


Рис. 2

Расчетное значение относительной призмной прочности при $W=6,33\%$ по формуле (1) при переменном значении температуры T_{ci} отличается от опытных данных на 3,8%. Расчетное значение относительной призмной прочности при $W=6,33\%$ по формуле (1) при средней отрицательной температуре $T_m = -6,5^\circ\text{C}$ отличается от опытных данных на 20%.

Относительный модуль упругости водонасыщенного бетона представлен на рис. 3 – диаграмма коэффициентов условий работы β_{bc} при влажности $W=6,33\%$.

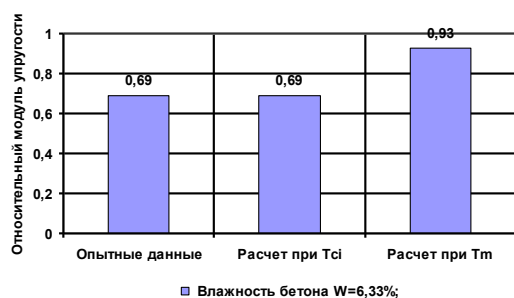


Рис. 3

Коэффициент изменения начального модуля упругости бетона, определенный по формуле (2), при переменном значении температуры T_{ci} не отличается от опытного зна-

чения. Относительный модуль упругости бетона, определенный по формуле (2), при средней отрицательной температуре $T_m = -6,5^\circ\text{C}$ отличается от опытных данных на 35%.

Результаты испытаний в виде диаграмм состояния сжатого водонасыщенного бетона при его влажности 6,33% представлены на рис. 4

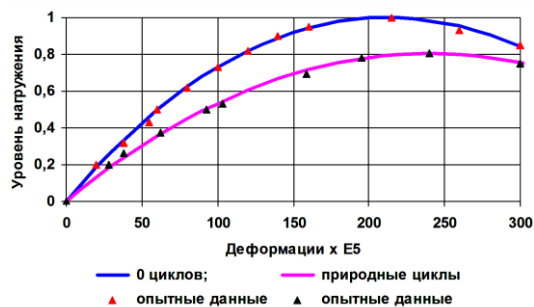


Рис. 4

Из рис. 4 видно, что предельные деформации сжатия бетона ϵ_{b0} возрастают с $205 \cdot 10^{-5}$ до $267 \cdot 10^{-5}$ относительных единиц, то есть увеличиваются на 30%.

Кроме этого наблюдается изменение характера кривой $\sigma_b - \epsilon_b$, которая после природных циклов замораживания-оттаивания становится более пологой.

ВЫВОДЫ

1. Воздействие природных циклов замораживания-оттаивания на бетон естественной влажности приводит к снижению его призмной прочности и начального модуля упругости соответственно на 9 и 15%.

2. Воздействие природных циклов замораживания-оттаивания на водонасыщенный бетон приводит к снижению его призмной прочности и начального модуля упругости соответственно на 20 и 31%.

3. При расчете коэффициентов, учитывающих снижение прочности бетона и его модуля упругости, необходимо учитывать нижнюю температуру природных циклов. Среднее значение отрицательной температуры приводит к завышению данных коэффициентов на 20...34%.

1. *Истомин А.Д., Петрова В.А.* Напряженно-деформированное состояние статически неопределимых балок в условиях отрицательных температур // Строительство и реконструкция. – 2019, №1(81). С.3...9.

2. *Истомин А.Д.* Влияние знакопеременных температур на напряженное состояние сталебетонных изгибаемых балок // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №2. С.219...224.

3. *Подвальный А.М.* О концепции обеспечения морозостойкости бетона в конструкциях зданий и сооружений // Строительные материалы. – 2004, №6 (594). С.4...6.

4. *Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A.* Experimental and Theoretical Study of Reinforced Concrete Elements under Different Characteristics of Loading at High Temperatures // Procedia Engineering, – 153,2016. P.721...725.

5. *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.

6. *Tamrazyan A.G., Khetagurov A.T.* Influence of rheological properties of structure on durability of concrete // Beton i Zhelezobeton. – (5), 2001. P. 4...6.

7. *Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т.* О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Академия. Архитектура и строительство. – 2015, №1. С.93...103.

8. *Актуганов И.З.* Методика оценки влияния климатических температурно-влажностных воздействий на долговечность бетона строительных конструкций. – Новосибирск: НГТУ, 2008.

9. *Ehsan Solatiyan, Mohammad Asadi and Mahmoud Bozorgmehrasl.* Experimental Investigating the effect of freeze-thaw cycles on strength properties of concrete pavements in cold climates // Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences. – Vol. 5(S2), 2015. P. 2421...2428.

1. *Istomin A.D., Petrova V.A.* Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie staticheski neopredelimykh balok v usloviyakh otritsatel'nykh temperatur // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2019, №1(81). S.3...9.

2. *Istomin A.D.* Vliyaniye znakovperemennykh temperatur na napryazhennoe sostoyaniye stalebetonnykh izgibaemykh balok // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, №2. S.219...224.

3. *Podval'nyy A.M.* O kontseptsii obespecheniya morozostoykosti betona v konstruktsiyakh zdaniy i sooruzheniy // Stroitel'nye materialy. – 2004, №6 (594). S.4...6.

4. *Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A.* Experimental and Theoretical Study of Reinforced Concrete Elements under Different Characteristics of Loading at High Temperatures // Procedia Engineering, – 153,2016. P.721...725.

5. *Tamrazyan A.G.* K raschetu zhelezobetonnykh elementov s uchetom polzuchesti i stareniya na osnove reologicheskoy modeli betona // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2012, № 7. S. 26...27.

6. *Tamrazyan A.G., Khetagurov A.T.* Influence of rheological properties of structure on durability of concrete // Beton i Zhelezobeton. – (5), 2001. P. 4...6.

7. *Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T.* O sovremennykh metodakh obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruktsiy // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. – 2015, №1. S.93...103.

8. *Aktuganov I.Z.* Metodika otsenki vliyaniya klimaticheskikh temperaturno-vlazhnostnykh vozdeystviy na dolgovechnost' betona stroitel'nykh konstruktsiy. – Novosibirsk: NGTU, 2008.

9. *Ehsan Solatiyan, Mohammad Asadi and Mahmoud Bozorgmehrasl.* Experimental Investigating the effect of freeze-thaw cycles on strength properties of concrete pavements in cold climates // Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences. – Vol. 5(S2), 2015. P. 2421...2428.

Рекомендована кафедрой железобетонных и каменных конструкций. Поступила 17.06.19.