

РАБОТА ЦЕНТРАЛЬНО-РАСТЯНУТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

BEHAVIOR OF THE CENTRALLY-STRETCHED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS AT NEGATIVE TEMPERATURE

А.Д. ИСТОМИН
A.D. ISTOMIN

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)
(National Research University Moscow State University of Civil Engineering)
E-mail: nauka.07@mail.ru

Строительство зданий и сооружений различного назначения из железобетона в условиях холодного климата требует решения задач по обеспечению долговечности и надежности железобетонных конструкций. Конструкции должны быть рассчитаны как в нормальных условиях, так и при отрицательной температуре. С целью выявления особенностей работы центрально-растянутых железобетонных элементов при понижении температуры до -70°C проведены экспериментальные исследования, результаты которых по прочности и деформативности представлены в статье.

Construction of buildings and constructions of the different setting from the reinforced concrete in the conditions of cold climate requires the decision of tasks on providing of longevity and reliability of reinforce-concrete constructions. Constructions must be expected as in normal terms, so at a negative temperature. With the purpose of exposure of features of the centrally-stretched reinforce-concrete elements at a drop in a temperature to -70°C conducted experimental research, the separate results of that on durability and deformability are presented in the article.

Ключевые слова: железобетон, отрицательная температура, влажность, деформации, прочность, модуль упругости, растяжение, трещины, усилия.

Keywords: reinforced concrete, negative temperature, humidity, deformations, durability, module of resiliency, tension, cracks, efforts.

Объем строительства зданий и сооружений различного назначения из железобетона в условиях холодного климата Российской Федерации постоянно растет. Это, в свою очередь, требует решения задач по обеспечению долговечности и надежности железобетонных конструкций зданий и сооружений, эксплуатируемых в сложных климатических условиях [1...3]. В отличие от обычных расчет таких конструкций должен быть произведен в нормальных условиях, при отрицательной температуре и при циклических замораживании-оттаиваниях, возникающих в течение всего жизненного цикла сооружения. В связи с этим проведены экспериментальные исследова-

ния центрально-растянутых железобетонных элементов при отрицательных температурах (до -70°C).

Опытные железобетонные образцы представляли собой призматические стержни прямоугольного сечения с размерами 12×18 см и длиной 80 см. Образцы армировались четырьмя арматурными стержнями периодического профиля $\text{Ø}10$ мм класса А400. Процент продольного армирования составлял $\mu = 1,45\%$. По торцам элемента устанавливались закладные детали, к которым приваривались проушины шарнирных опор. Толщина защитного слоя рабочей арматуры была принята 25 мм.

Методика испытаний железобетонных образцов заключалась в следующем. Образец, помещенный в силовую установку при температуре +15°C, замораживался до необходимой температуры. Затем образец растягивался двумя гидравлическими домкратами. Растягивающее усилие прикладывалось ступенями, равными $0,1N_{ult}$. Перемещения измерялись с помощью четы-

рех индикаторов, установленных на арматуре, на базе 400 мм. Испытания проводили в термобарокамере ТВВ-8000 с рабочим объемом 8 м³.

Результаты опытов по определению свободных температурных деформаций бетона, арматуры и железобетона представлены в табл. 1.

Таблица 1

Вид материала	Температурные деформации $\varepsilon \cdot 10^5$ при температуре, °C					
	15	0	-20	-30	-50	-70
Бетон, $W = 5,25\%$	0	-12	-28	-35	-51	-56
Арматура класса А400	0	-18	-42	-54	-78	-102
Железобетонные стержни	0	-12	-29	-37,5	-54	-62

Из табл. 1 видно, что деформации арматуры в железобетонном стержне с симметричным армированием меньше свободных деформаций арматуры. При этом в арматуре возникают растягивающие напряже-

ния, равные:

$$\sigma_{s,\alpha} = E_{s,T}(\varepsilon_{s,T} - \varepsilon_{b,T}). \quad (1)$$

Деформативно-прочностные характеристики бетона представлены в табл. 2 (результаты испытаний бетона).

Таблица 2

T, °C	W, %	R_{bt} , МПа	$\frac{R_{bt}}{R_{bt,15}}$	$E_{bt} \cdot 10^{-3}$, МПа	$\frac{E_{bt}}{E_{bt,15}}$	$\varepsilon_{bt} \cdot 10^5$	$\frac{\varepsilon_{bt}}{\varepsilon_{bt,15}}$
15	5,25	1,3	1,0	22,3	1,0	8,0	1,0
-50	5,25	2,64	2,03	30,1	1,35	14	1,75
-70	5,25	2,99	2,3	32,3	1,45	17,0	2,1

Известно, что прочность бетона на растяжение, а также его модуль упругости возрастают с понижением температуры [3]. Повышение этих показателей при замораживании железобетонных конструкций учитывают с помощью соответствующих коэффициентов условий работы и реологических параметров бетона [4...6].

Коэффициенты условий работы для прочности бетона при растяжении и для его начального модуля упругости, на основании анализа результатов испытаний, реко-

мендуется определять соответственно по формулам:

$$\gamma_{b,t} = 1 + n_{bt} 0,75(1 - e^{0,06T}), \quad (2)$$

$$\gamma_{b,E} = 1 + n_E 0,75(1 - e^{0,015T}), \quad (3)$$

где n_{bt} , n_E – эмпирические коэффициенты; T – температура конструкции.

Значения соответствующих коэффициентов, входящих в формулы (2), (3), представлены в табл. 3 (значения коэффициентов n_{bt} , n_E).

Таблица 3

Коэффициенты	Влажность бетона		
	$W < 4,0\%$	$4,0\% \leq W \leq 6,0\%$	$W > 6,0\%$
n_{bt}	0,5	2	2,5
n_E	0,3	0,9	1,2

В работах [7], [8] на основании результатов исследований свойств арматурных сталей при изменении температуры до -196°C даны рекомендации по определению характеристик сталей.

Так, предел текучести арматуры предлагается определять по формуле:

$$R_{s,T} = R_s + 9,53 \cdot 10^{-3} (20 - T)^2, \quad (4)$$

где R_s – прочность арматурной стали в нормальных условиях; T – температура замораживания.

Модуль упругости стали, в условиях отрицательных температур, вычисляется по формуле:

$$E_{s,T} = E_s \left[1 + 9,3 \cdot 10^{-4} (20 - T) \right], \quad (5)$$

где E_s – модуль упругости арматуры в нормальных условиях.

Результаты испытаний образцов арматурной стали класса А400 опытных железобетонных элементов представлены в табл..

Таблица 4

Температура T , $^{\circ}\text{C}$	$E_s \cdot 10^{-5}$, МПа	$\frac{E_{s,T}}{E_s}$	R_s , МПа	$\frac{R_{s,T}}{R_s^{+15}}$
+15	2,0	1,0	433	1,0
-50	2,10	1,05	475	1,1
-70	2,17	1,08	510	1,18

На рис. 1 (средние деформации арматуры центрально-растянутых элементов) и в табл. 5 (результаты испытаний железобетонных стержней) представлены опытные данные испытанных центрально-растянутых элементов при различных температурах.

Полученные данные опытов показывают, что температура замораживания и влажность бетона оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние центрально-растянутых железобетонных элементов. Понижение температуры до -70°C приводит к увеличению усилия трещинообразования на 162%, прочности – на 22%. Ширина раскрытия трещин

при уровне нагружения $0,65 N_{ult}$ увеличивается на 110%.

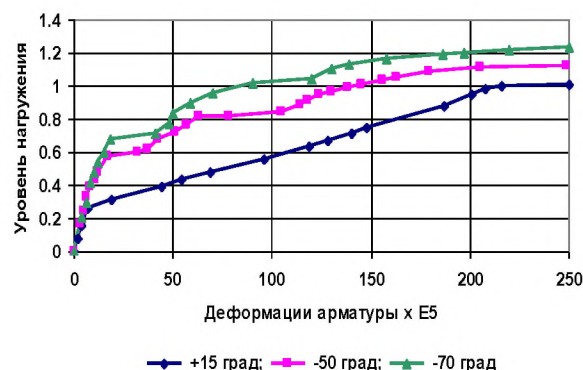


Рис. 1

Таблица 5

T , $^{\circ}\text{C}$	$N_{ср}^{exp}$, кН	$\frac{N_{ср,T}^{exp}}{N_{ср,+15}^{cal}}$	N_{ult}^{exp} , кН	$\frac{N_{ult,T}^{exp}}{N_{ult,+15}^{cal}}$	$a_{ср}^{exp}$, мм	$\frac{a_{ср,T}^{exp}}{a_{ср,+15}^{cal}}$
15	36,0	1,0	137,91	1,0	0,10	1,0
-50	79,5	2,21	152,88	1,11	0,12	1,2
-70	94,2	2,62	168,25	1,22	0,21	2,1

ВЫВОДЫ

1. Усилие трещинообразования и прочности центрально-растянутых элементов

необходимо производить с учетом изменения деформативно-прочностных свойств бетона и арматуры, в зависимости от температуры замораживания.

2. При определении усилия трещинообразования в центрально-растянутых элементах необходимо учитывать усилие, возникающее из-за разности температурных деформаций бетона и арматуры.

3. Ширина раскрытия трещин при эксплуатационном уровне нагружения увеличивается в 2,1 раза при понижении температуры до -70°C .

4. Понижение температуры до -70°C приводит к увеличению усилия трещинообразования в 2,6 раза, прочности в 1,22 раза центрально-растянутых элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы // Промышленное и гражданское строительство. – 2014, №8. С.30...33.

2. Алмазов В.О., Истомин А.Д. Влияние способа водонасыщения на температурные деформации бетона при замораживании // Воздействия внешних факторов на гидротехнические сооружения. – 1986. С.162...169.

3. Москвин В.М., Капкин М.М., Савицкий А.Н., Ярмаковский В.Н. Бетон для строительства в суровых климатических условиях. – Л.: Стройиздат, 1973.

4. Алмазов В.О., Истомин А.Д. Температурные усилия в железобетонных конструкциях морских гидротехнических сооружений // Морские нефтегазопромисловые сооружения. – 1989. С.104...110.

5. Милованов А.Ф., Самойленко В.Н. Учет воздействия низких температур при расчете конструкций // Бетон и железобетон. – 1980, №3. С.25...26.

6. Тамразян А.Г. К расчету изгибаемых железобетонных элементов с учетом изменения реологического параметра бетона // В сб. мат. Междунар. конф.: Промышленность стройматериалов и стройиндустрия, энерго- и ресурсосбережение в условиях рыночных отношений. – 1997. С. 218...222.

7. Мешков В.З. Особенности работы стержневой горячекатаной арматуры в железобетонных конструкциях при низких температурах: Дис...канд. техн. наук. – 1975.

8. Baca M., Rybak J., Tamrazyan A.G., Zyrek T. Pile foot capacity testing in various cases of pile shaft displacement. 16th International multidisciplinary scientific geoconference, (sgem 2016): science and technologies in geology, exploration and mining, Vol I: International Multidisciplinary Scientific GeoConference-Sgem. – Albena, Bulgaria, 2016. P. 945...950.

REFERENCES

1. Tamrazjan A.G. Beton i zhelezobeton: problemy i perspektivy // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2014, №8. S.30...33.

2. Almazov V.O., Istomin A.D. Vlijanie sposoba vodonasyshtenija na temperaturnye deformacii betona pri zamorazhivanii // Vozdejstvija vneshnih faktorov na gidrotehnicheskie sooruzhenija. – 1986. S.162...169.

3. Moskvina V.M., Kapkin M.M., Savickij A.N., Jarmakovskij V.N. Beton dlja stroitel'stva v surovylh klimaticheskikh uslovijah. – L.: Strojizdat, 1973..

4. Almazov V.O., Istomin A.D. Temperaturnye usilija v zhelezobetonnyh konstrukcijah morskikh gidrotehnicheskikh sooruzhenij // Morskije neftegazopromyslovyje sooruzhenija. – 1989. S.104...110.

5. Milovanov A.F., Samojlenko V.N. Uchet vozdejstvija nizkih temperatur pri raschete konstrukcij // Beton i zhelezobeton. – 1980, №3. S.25...26.

6. Tamrazjan A.G. K raschetu izgibaemyh zhelezobetonnyh jelementov s uchetom izmenenija reologicheskogo parametra betona // V sb. mat. Mezhdunar. konf.: Promyshlennost' strojmaterialov i strojindustrija, jenergo- i resursosberezhenie v uslovijah rynochnyh odnoszenij. – 1997. S. 218...222.

7. Meshkov V.Z. Osobennosti raboty sterzhnevoj gorjachekatanoj armatury v zhelezobetonnyh konstrukcijah pri nizkih temperaturah: Dis...kand. tehn. nauk. – 1975.

8. Baca M., Rybak J., Tamrazyan A.G., Zyrek T. Pile foot capacity testing in various cases of pile shaft displacement. 16th International multidisciplinary scientific geoconference, (sgem 2016): science and technologies in geology, exploration and mining, Vol I: International Multidisciplinary Scientific GeoConference-Sgem. – Albena, Bulgaria, 2016. P.945...950.

Рекомендована Ученым советом МГСУ. Поступила 18.04.17.