

Исследования диаграмм деформирования конструкционных бетонов различных видов и структур в условиях одновременного воздействия низких (до минус 70 °С) климатических температур и силовых нагрузок

Авторы: В.Н. Ярмаковский, Д.З. Кадиев

Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской Академии архитектуры и строительных наук

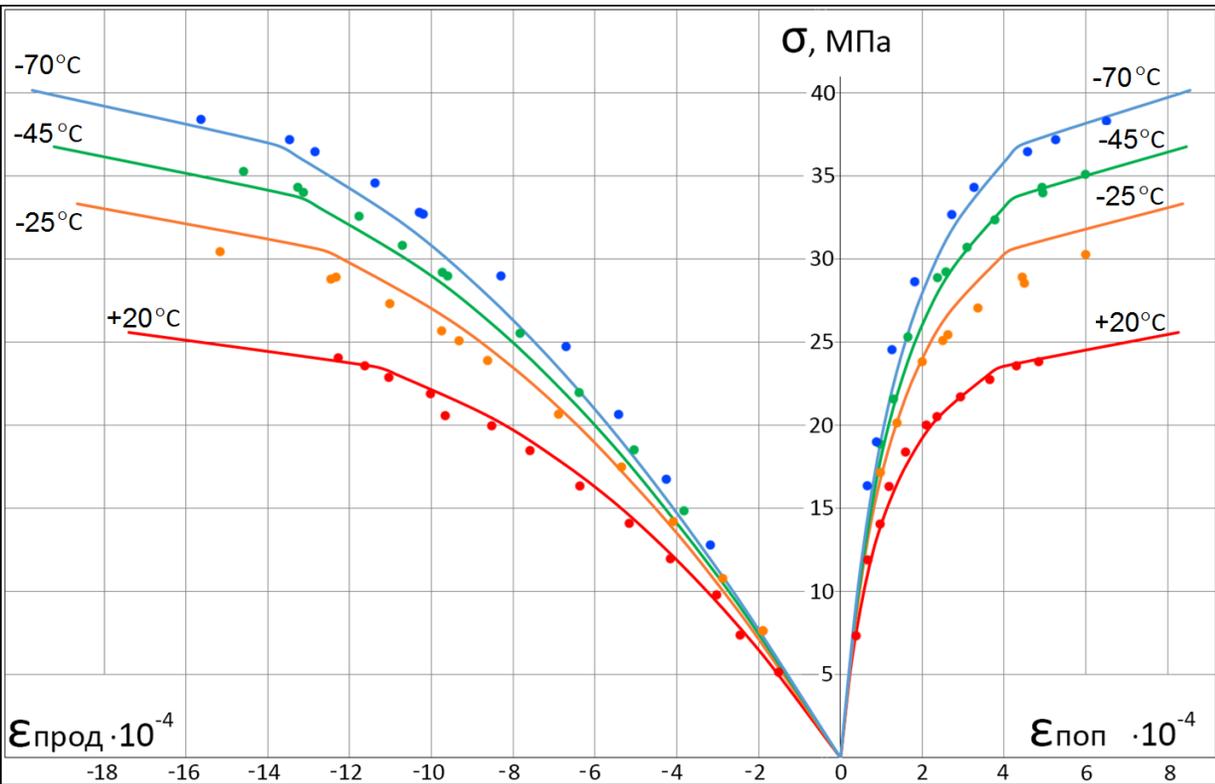


Актуальность темы. До настоящего времени остается остро актуальной проблема освоения Крайнего Севера, северо-восточных регионов страны и Арктического шельфа. Последнее подтверждается Постановлением Правительства РФ №366 от 24.04.2014 об утверждении госпрограммы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации».

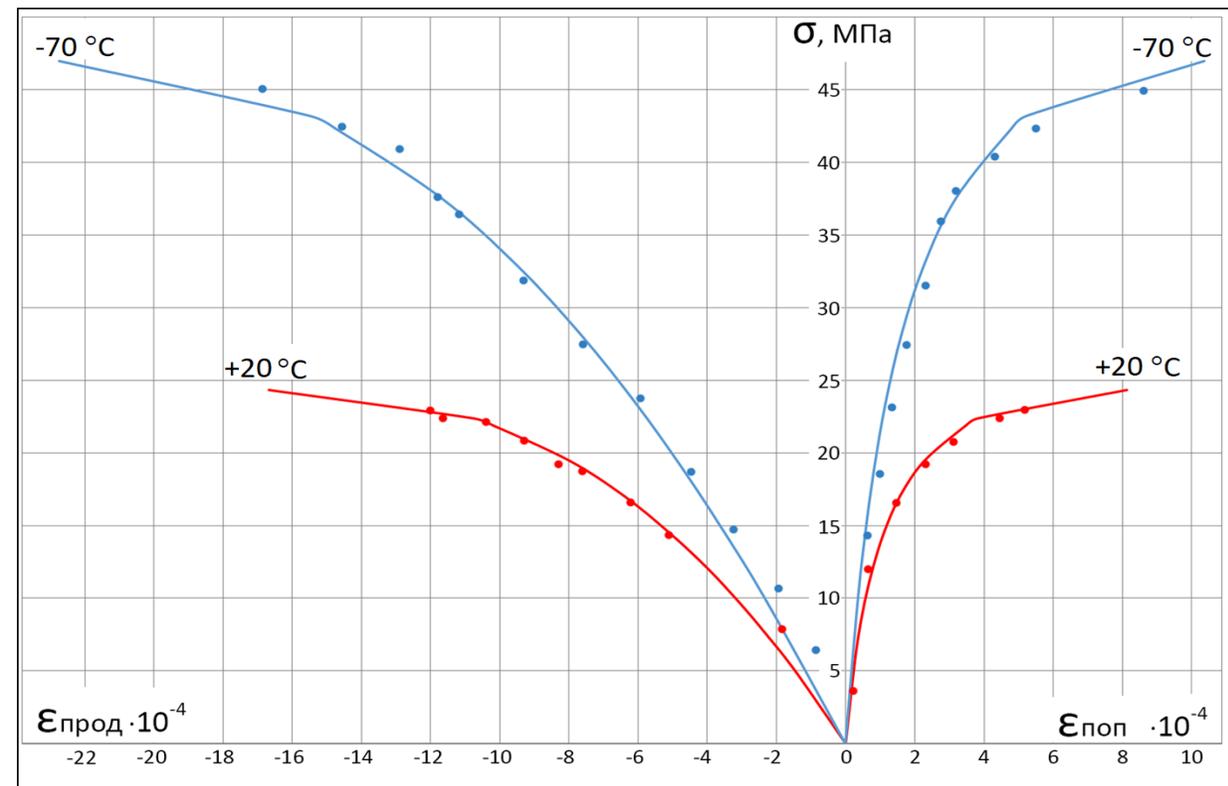
Действующие нормативные документы с методами расчетов ЖБ конструкций практически не учитывают возможности воздействия на бетоны конструкций низких отрицательных температур. Разработанная новая модификация **диаграммного метода расчета ЖБ конструкций** учитывает воздействие на них отрицательных температур и является наиболее эффективным методом для использования при проектировании конструкций инженерных сооружений, эксплуатируемых в суровых климатических условиях.

Результаты экспериментальных исследований

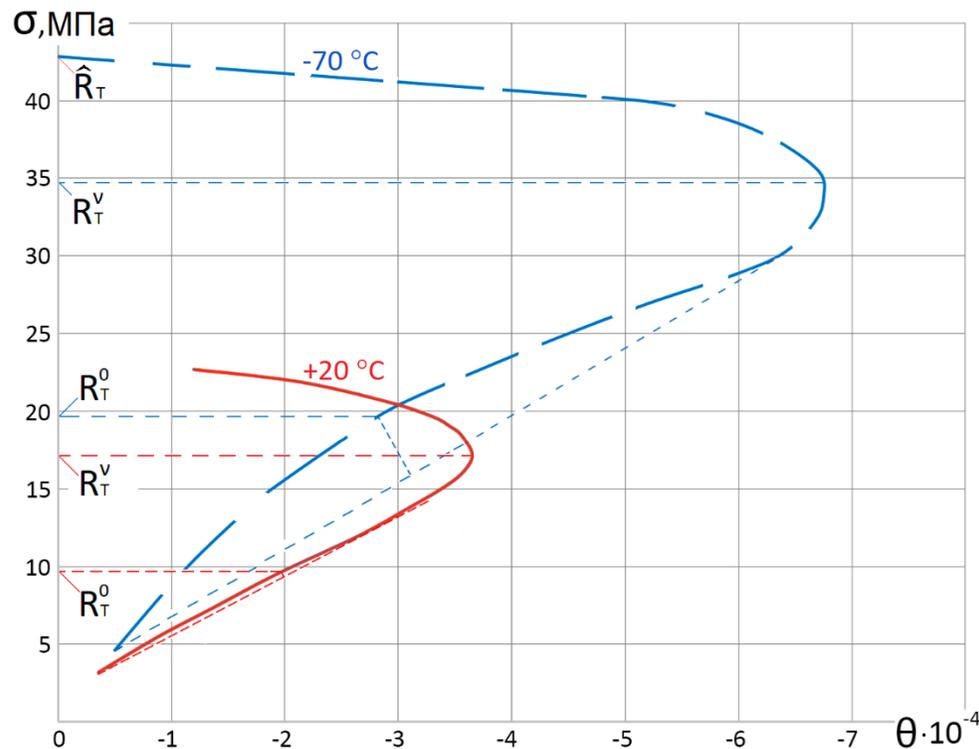
Диаграммы зависимостей продольных и поперечных деформаций тяжелого бетона с В/Ц=0,4 и исходной влажностью W=4,05% от напряжений осевого сжатия и от величины температуры однократно замороженного бетона



Диаграммы зависимостей продольных и поперечных деформаций тяжелого бетона с В/Ц=0,4 и исходной влажностью W=4,90% от напряжений осевого сжатия и от величины температуры однократно замороженного бетона



Диаграммы зависимостей объемных деформаций (θ) от напряжений осевого сжатия в тяжелом бетоне с $V/C=0,4$ и $W=4,9\%$



$$\theta = \varepsilon_b (1 - 2\mu_b)$$

$$d\theta = d\varepsilon_b (1 - 2\mu_b^k)$$

μ_b – полный коэффициент поперечных деформаций

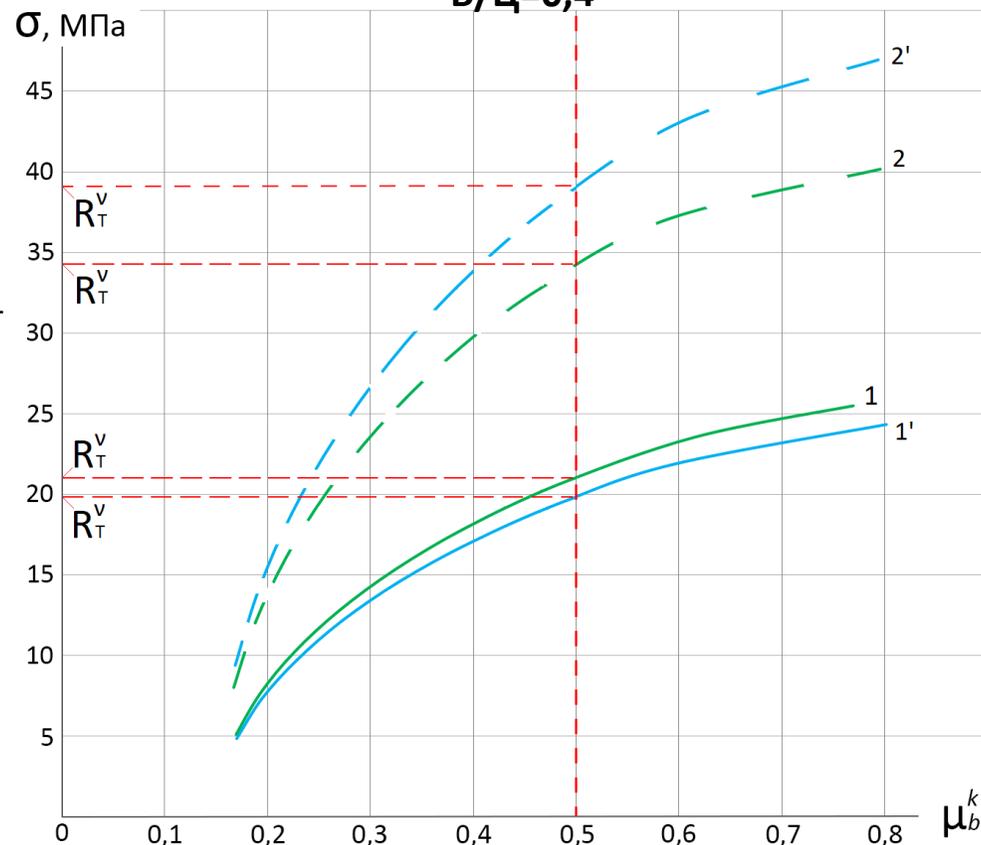
μ_b^k – касательный (дифференциальный) коэффициент поперечных деформаций

R_T^0 – точка напряженно-деформированного состояния бетона, соответствующая нижней границе области его микротрещинообразования – области развития обратимых деформаций

R_T^v – точка напряженно-деформированного состояния бетона, соответствующая верхней границе области его микротрещинообразования – началу развития псевдопластических деформаций

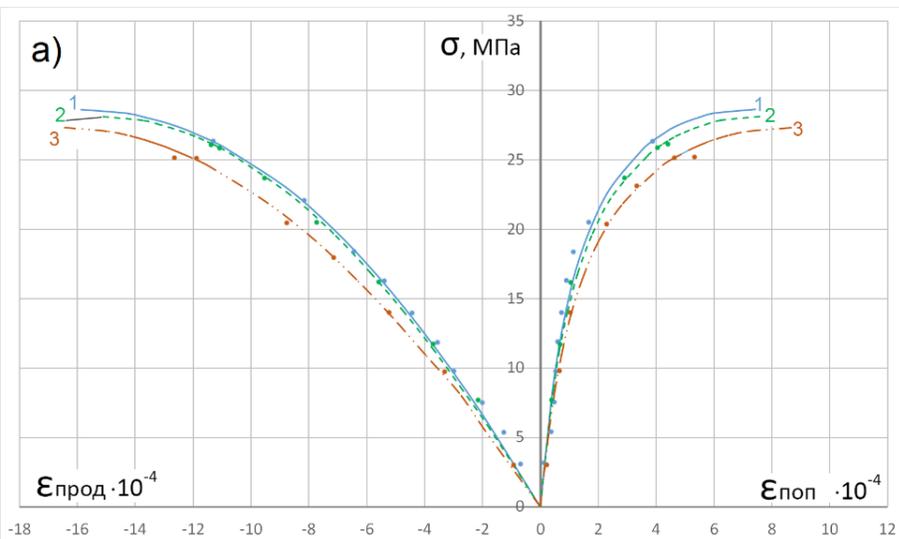
\hat{R}_T – точка, соответствующая моменту перехода процесса развития псевдопластических деформаций в процесс прогрессирующих микроразрушений и далее – макроразрушений бетона

Диаграммы зависимости касательного (дифференциального) коэффициента поперечных деформаций от напряжений осевого сжатия для бетона с $V/C=0,4$



- 1 – бетон с $W=4,05\%$ при $T= +20^\circ\text{C}$
- 2 – бетон с $W=4,05\%$ при $T= -70^\circ\text{C}$
- 1' – бетон с $W=4,90\%$ при $T= +20^\circ\text{C}$
- 2' – бетон с $W=4,90\%$ при $T= -70^\circ\text{C}$

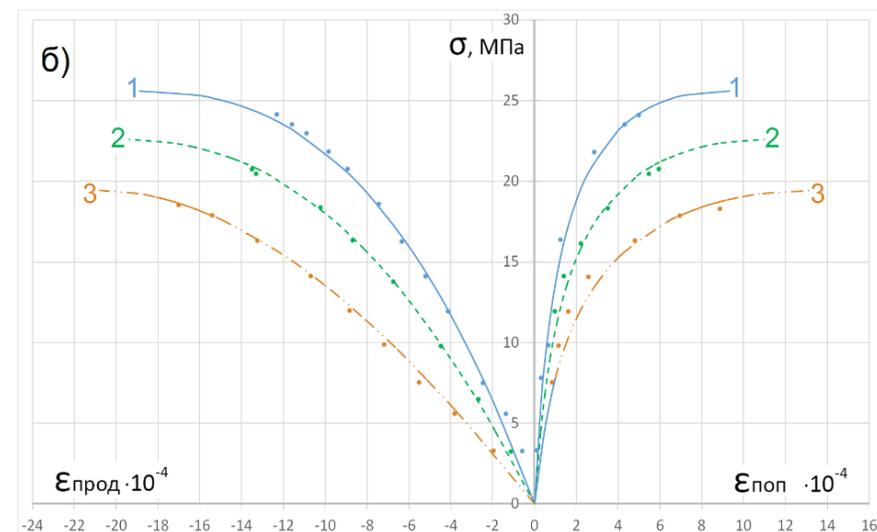
Результаты аналитических исследований по определению показателей изменения значений прочностных ($R_{пр,н}$) и деформативных (E_{bn} , ϵ_{bn}) характеристик бетона после циклического попеременного замораживания (до -70 C) и оттаивания.



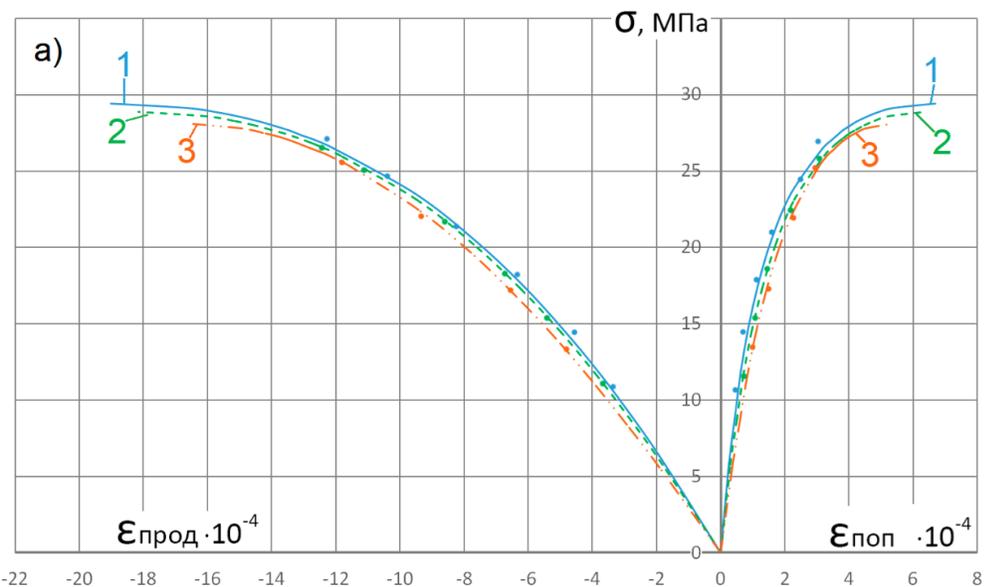
ОТТАИВАНИЯ.

Диаграммы зависимости продольных и поперечных деформаций от напряжений сжатия в бетоне с $V/C=0,4$ после циклов замораживания и оттаивания.

а) $W=3,12\%$; б) $W=4,05\%$.

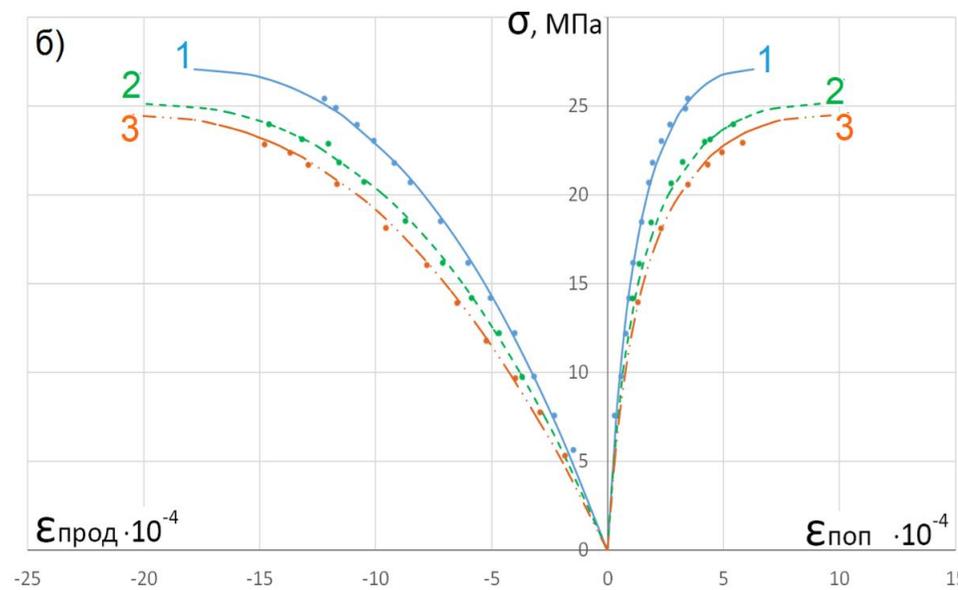


Условные обозначения: 1 – бетон, не подвергавшийся замораживанию-оттаиванию; 2 – то же, подвергнутый 10 циклам замораживания и оттаивания; 3 – то же, подвергнутый 30 циклам замораживания и оттаивания



Диаграммы зависимости продольных и поперечных деформаций от напряжений сжатия в бетоне с $V/C=0,4$ с добавкой кремний-органической жидкости ГКЖ-11Н.

а) $W=3,04\%$; б) $W=3,88\%$.



Прочностные характеристики областей напряженно-деформированного состояния тяжелого бетона, подвергаемого попеременному циклическому замораживанию до минус 70°С и оттаиванию

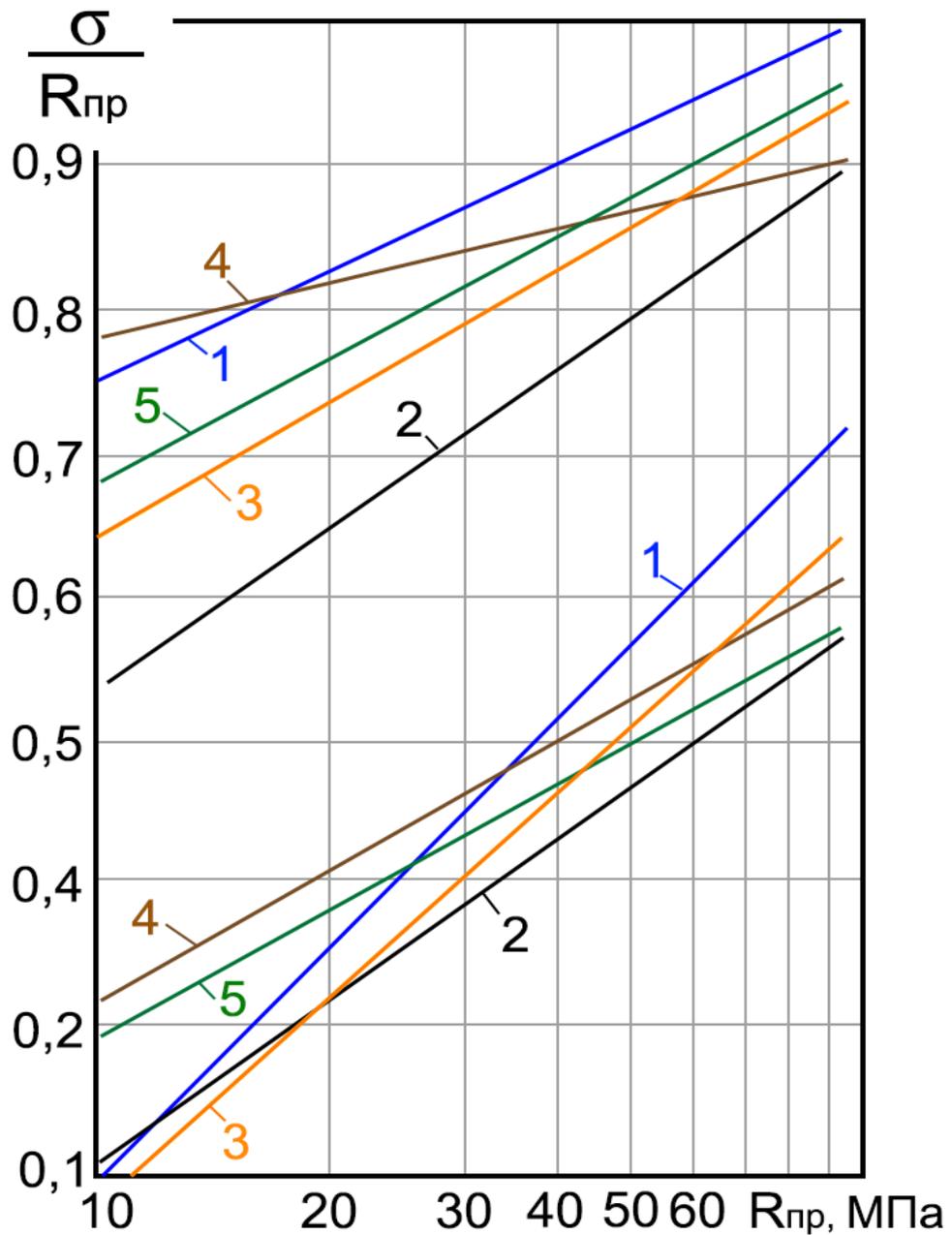
Группа водонасыщения	Количество циклов замораживания	В/Ц=0,4				В/Ц=0,4 с ГКЖ-11Н			
		W. %	$R_{пр}$, МПа	$R^0_{Т}$, МПа	$R^v_{Т}$, МПа	W. %	$R_{пр}$, МПа	$R^0_{Т}$, МПа	$R^v_{Т}$, МПа
I	0	3,30	28,64	10,98	22,36	3,04	29,42	12,85	26,28
	10	3,33	28,05	10,89	21,77	3,10	28,64	12,85	25,69
	30	3,27	26,67	10,10	20,10	2,96	27,95	12,26	24,52
II	0	4,38	25,60	10,30	20,01	3,88	27,07	12,16	23,93
	10	5,16	22,26	8,73	16,08	4,37	25,11	10,30	21,08
	30	5,73	19,42	8,14	13,34	4,65	24,32	9,51	19,61
III	0	5,06	24,32	9,81	19,22	5,01	25,89	10,79	22,36
	1	5,46	16,08	7,65	10,89	5,49	16,87	8,63	12,85
	5	6,93	8,43	4,71	4,31	6,38	9,41	6,08	5,20

Условные обозначения: $R_{пр}$, $R^0_{Т}$, $R^v_{Т}$ – величины напряжений, определяющие соответственно призмную прочность, нижнюю и верхнюю границы области микротрещинообразования бетона после определенного количества циклов замораживания и оттаивания; W – средняя массовая влажность бетона

Группа обр. по режиму водонасыщ.	Количество циклов замораживания	W, %	$E_{ср} \cdot 10^{-3}$, МПа	$\varepsilon_{сж} \cdot 10^{-4}$		$\varepsilon_{рсж} \cdot 10^{-4}$		$\theta_{max} \cdot 10^{-4}$
				$\sigma=0,92R_{пр}$	$\sigma=R^v_T$	$\sigma=0,92R_{пр}$	$\sigma=R^v_T$	
В/Ц=0,4								
I	0	3,12	34,62	11,3	8,35	3,90	2,0	4,38
	10	3,10	33,44	11,1	8,25	4,05	2,0	4,32
	30	3,06	30,01	11,9	8,45	4,60	2,1	4,37
II	0	4,05	35,01	11,6	8,50	4,30	2,1	4,29
	10	4,74	25,30	13,3	8,40	5,45	2,2	4,23
	30	5,15	15,98	15,4	10,0	6,95	2,2	5,88
III	0	4,90	36,48	11,65	8,30	6,45	2,3	3,78
	1	5,44	11,77	13,6	8,60	6,6	2,0	5,18
	5	6,81	1,67	38,4	22,00	28,6	5,0	12,18
В/Ц=0,4 с ГКЖ-11Н								
I	0	3,04	35,30	12,1	11,45	3,2	2,75	5,85
	10	3,10	33,93	12,2	11,25	3,4	2,7	5,75
	30	2,96	31,19	11,85	11,10	3,1	2,65	5,77
II	0	3,88	34,13	11,75	10,75	3,35	2,7	5,38
	10	4,37	30,40	13,2	10,85	4,4	3,0	5,02
	30	4,65	26,67	13,7	10,60	4,9	2,95	4,8
III	0	5,01	37,17	12,2	10,40	4,2	2,8	4,66
	1	5,49	12,65	15,6	10,30	7,8	2,55	5,42
	5	6,38	1,86	38,5	26,40	32,0	8,0	10,5

Деформативные характеристики областей напряженно-деформированного состояния бетона, подвергаемого попеременному циклическому замораживанию до минус 70°С и оттаиванию. *Условные обозначения – см. табл. 3.*

Условные обозначения: $R_{пр}$, R^0_T , R^v_T – величины напряжений, определяющие соответственно призменную прочность, нижнюю и верхнюю границы области микротрещинообразования бетона после определенного количества циклов замораживания и оттаивания; W – средняя массовая влажность бетона



Нижняя ($R_t^o/R_{пр}$) и верхняя ($R_t^v/R_{пр}$) границы области микротрещинообразования конструкционного легкого и тяжелого бетонов классов по прочности на осевое сжатие В30

1 – бетон на пористом остеклованном шлаковом гравии;

2 – тяжелый бетон;

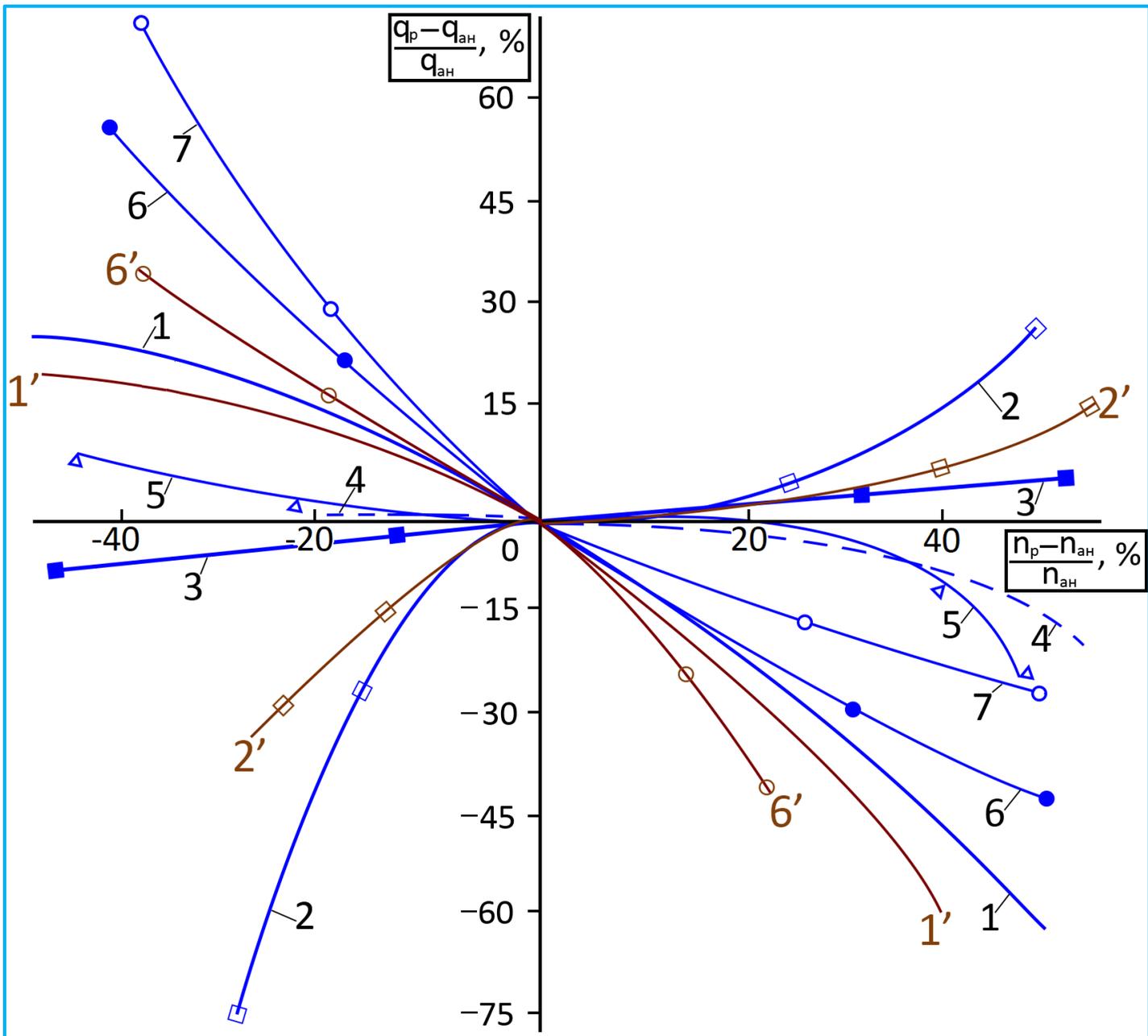
3 – керамзитобетон на пористом песке;

4 – керамзитобетон на кварцевом песке;

5 – бетон на безобжиговом зольном гравии и кварцевом песке

$$R_t^o / R_{пр} = 0,525 \cdot \lg R_{пр} - 0,327;$$

$$R_t^v / R_{пр} = 0,239 \cdot \lg R_{пр} + 0,517$$



Влияние параметров макроструктуры (n) конструкционного легкого бетона (КЛБ) и тяжелого бетона (ТБ) на прочность (q) при осевом сжатии

- 1 – неоднородность включений (КЛБ);
- 1' – неоднородность включений (ТБ);
- 2 – прочность контактной зоны (КЛБ);
- 2' – прочность контактной зоны (ТБ);
- 3 – ширина контактной зоны (КЛБ);
- 4 – коэффициент формы зерен (КЛБ);
- 5 – размер включений (КЛБ);
- 6 – размер пор (КЛБ);
- 6' – размер пор (ТБ);
- 7 – количество пор (КЛБ)

Условные обозначения

q_p – расчетная прочность на осевое сжатие конструкционного легкого бетона
 $q_{ан}$ – прочность аналога конструкционного легкого бетона

Результаты работы:

- **Установлено**, что низкие отрицательные температуры оказывают значительное влияние на напряжения, деформации и прочность ЖБ конструкций. Это влияние предлагается учитывать при расчете конструкций по диаграммному методу, основу которого составляют диаграммы деформирования бетона в условиях одновременного действия силовых нагрузок и низких отрицательных температур.
- **Разработаны** физические соотношения диаграммного метода расчета стержневых ЖБ конструкций, эксплуатируемых в условиях отрицательных температур.
- **На основании** результатов обработки данных экспериментальных и теоретических исследований предложена соответствующая корректировка диаграмм осевого сжатия и растяжения бетона, построенных при испытаниях его образцов в условиях обычных положительных температур, применительно к условиям воздействия низких отрицательных температур. В соответствии с ней установлено влияние низких отрицательных температур на изменение прочности, начального модуля упругости бетона и его относительных деформаций в вершинах диаграмм, построенных при испытании под нагрузками осевого сжатия и растяжения бетонных образцов в замороженном состоянии до температуры, примерно равной минус 70°С.
- **Установлено**, что повышение прочности и предельной деформативности бетона, испытанного под нагрузкой в замороженном состоянии при температурах ниже -70 °С при различной исходной влажности цементного камня и бетона, фактически прекращается.
- **Установлено** определяющее влияние таких структурно-технологических характеристик бетона, как его В/Ц, дифференциальная пористость и исходная влажность бетона на изменение диаграмм деформирования и его прочностных характеристик в замороженном до -70 °С состоянии. Характер влияния этих структурно-технологических факторов и определяет установленные результатами выполненных исследований преимущества конструкционных легких бетонов в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами в стойкости к одновременному воздействию силовых нагрузок и низких до -70 °С отрицательных температур.