

18 - 20 октября 2023 г. Москва, Экспоцентр
XXV МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ
ЦЕМЕНТ БЕТОН СУХИЕ СМЕСИ 2023

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОНОВ



ООО ИНЖЕНЕРНАЯ КОМПАНИЯ «НИИЖБ»



**ЯКОБСОН
МАКСИМ ЯКОВЛЕВИЧ**

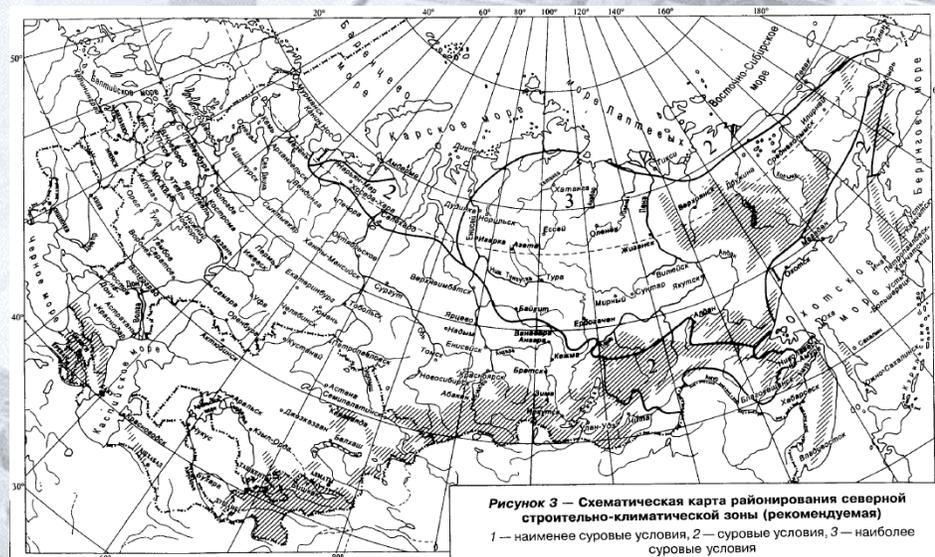
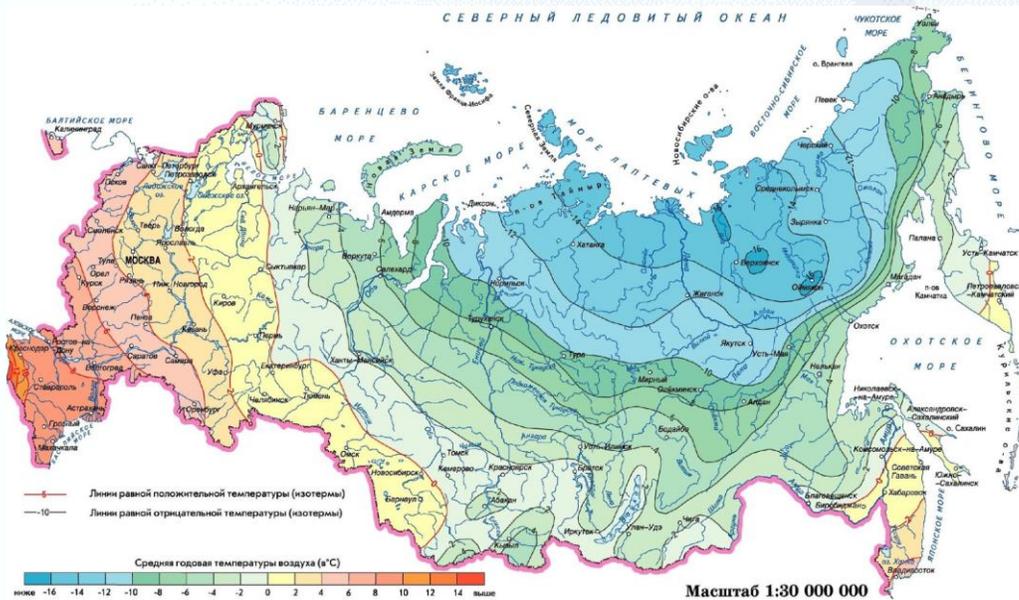
**РУКОВОДИТЕЛЬ ЦЕНТРА ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА,
К.Т.Н.**



ООО ИНЖЕНЕРНАЯ КОМПАНИЯ «НИИЖБ»

МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА

Разрушение бетона при циклическом замораживании-оттаивании является общей проблемой для строительных конструкций, находящихся на открытом воздухе под воздействием отрицательных температур.



Всякое нормирование и стандартизация предполагают единство измерений

ПОВРЕЖДЕНИЯ МОРОЗОМ

Существует два разных типа повреждений морозом:

тип А: Дефекты, причиненные замерзанием воды, содержащейся в:

- капиллярных порах в цементном камне
- порах в зернах заполнителя
- воздушных порах
- глубоких трещинах
- контактной зоне между заполнителем и цементным камнем

Замерзание бетона в контакте с пресной воде редко сразу приводит к шелушению поверхности, но прежде и чаще всего к необратимым внутренним повреждениям (дефектам структуры).



ПОВРЕЖДЕНИЯ МОРОЗОМ

Тип Б: Поверхностное шелушение, вызванное замерзанием бетона при контакте с растворами антигололедных реагентов.

Разрушение бетона, подвергшегося воздействию мороза и солевого раствора, начинается, как правило, с шелушения поверхности.



ПОВРЕЖДЕНИЯ МОРОЗОМ

Тот факт, что существует **два типа повреждений**, подразумевает, что необходимы **два типа методов испытаний**:

1: Испытание на замораживание/оттаивание при действии чистой водой, определяющие риск и степень повреждения структуры бетона от действия мороза.

2: Испытание на замораживание/оттаивание при действии растворов солей (антигололедных реагентов), выявляющее риск и степень шелушения поверхности бетонного изделия.



МЕХАНИЗМЫ МОРОЗНОГО РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА И КОНСТРУКЦИИ

Факторы морозной деструкции бетона

Давление кристаллообразования льда

Гидростатическое давление воды

Гидравлическое (гидродинамическое) давление воды с учетом теплофизических свойств

Осмотическое давление воды

Различие КЛТР заполнителей и цементного камня

Различие теплоемкости и теплопроводности заполнителей и цементного камня

Различие коэффициентов температурного деформирования льда и твердой фазы

Повышение растворимости новообразований цементного камня в растворе NaCl при снижении температуры

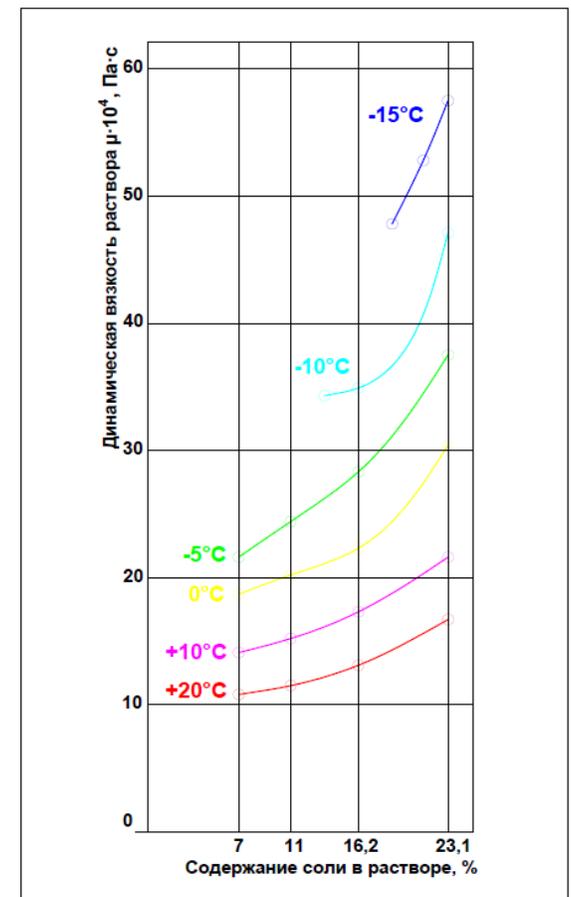
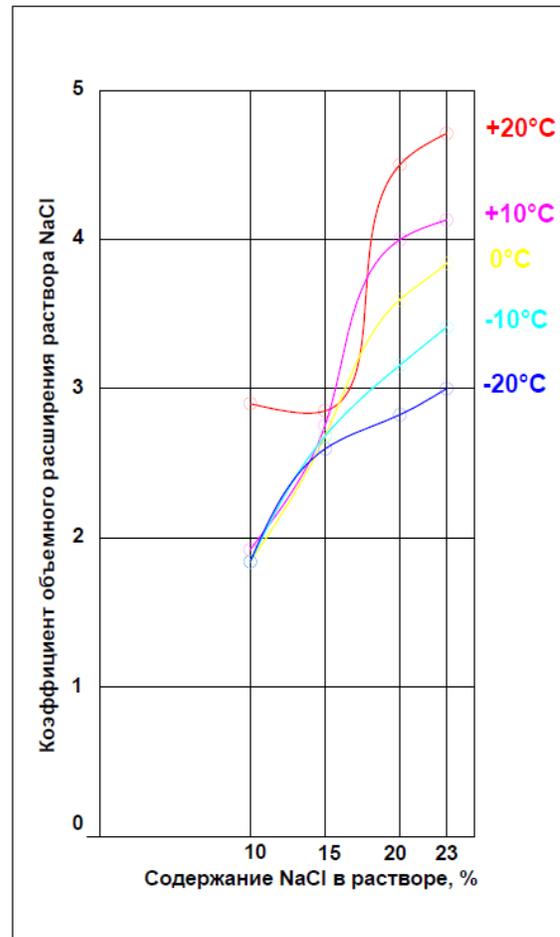
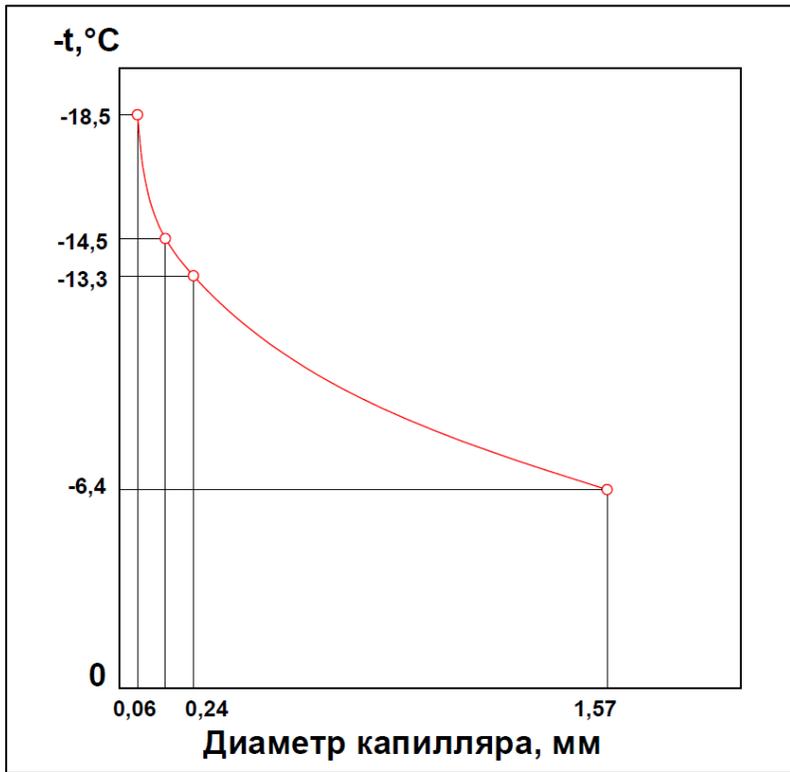
Градиент температурных и влажностных деформаций по сечению конструкции

Влагоперенос в результате температурного градиента

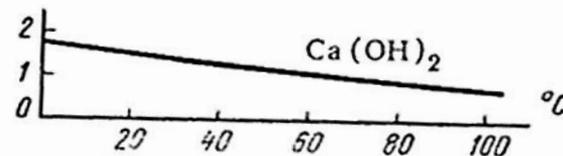
Гидростатическое, гидравлическое, осмотическое давление воды как следствие льдообразования

Факторы морозной деструкции конструкции

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И РАСТВОРА NaCl



Количество NaCl в растворе, % по массе	Плотность при 15,5 оС, кг/л	Удельная теплоемкость при 15,5оС, кДж/(кгК)	Температура замерзания,оС
0	1	4,18	0
5	1,035	3,92	-2,8
10	1,072	3,71	-6,4
15	1,111	3,54	-11,1
20	1,15	3,4	-16,8
23	1,175	3,33	-21,1
25	1,191	3,29	-8,8



Наименование композиции	Состав	Растворимость Ca(OH)2, г/100мл
Ca(OH)2	-	0,170
Ca(OH)2+NaCl	1(+1г/100мл)	0,372
Ca(OH)2+NaCl	1(+3г/100мл)	0,380
Ca(OH)2+NaCl	1(+5г/100мл)	0,307
Ca(OH)2+NaCl	1(+10г/100мл)	0,259

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ БЕТОНА НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

	РФ	EN
Определение	<p>СП 28.13330 Коррозия бетона, вызванная переменным замораживанием и оттаиванием, в присутствии или без солей противобледенителей</p> <p>ГОСТ 10060 Способность бетона в водонасыщенном или насыщенном растворе соли состоянии выдерживать многократное замораживание и оттаивание без внешних признаков разрушения (трещин, сколов, шелушения ребер образцов), снижения прочности, изменения массы и других технических характеристик: динамического модуля упругости, скорости ультразвука, или деформаций.</p>	<p>EN 206. Класс опасности влияния окружающей среды. Морозное воздействие (XF)</p> <p>CEN/TS 12390-9, PD CEN/TR 15177</p> <p>Устойчивость к попеременному замораживанию и оттаиванию в присутствии воды/антиобледенительной соли</p>
НТД	<p>ГОСТ 10060—2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости</p> <p>ГОСТ 10060-95</p> <p>ГОСТ 10060-87</p> <p>ГОСТ 10060-76</p> <p>ГОСТ 10060-62*</p> <p>Изменения ГОСТ 10060 с 1962 по 2012 г. направлены на: изменение базы сравнения; изменение критерия сравнения; добавление ускоренных методов испытания; расширение области применения ускоренных методов испытания, изменение методики испытания. Все эти дополнения, которые могут приводить к изменению конечного результата испытаний, не нашли отражение в нормативных документах, назначающих требования к бетону (СНиП, СП).</p> <p>Установленные количественные нормативные значения марок по морозостойкости не соответствуют статистическим данным по температурным процессам на поверхности и в объеме бетона и являются условными.</p> <p>ГОСТ 17608-2017</p>	<p>Методические рекомендации по испытанию дорожного бетона на коррозионную стойкость против совместного действия хлористых солей и мороза (СоюзДорНИИ, М, 1975г.)</p> <p>CEN/TS 12390-9 Испытания бетона на стойкость к шелушению при замораживании-оттаивании с водой или раствором NaCl</p> <p>PD CEN/TR 15177 Испытание бетона на морозостойкость – Внутренние структурные повреждения</p>

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ БЕТОНА НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

РФ		EN																													
<p>СП 28.13330 Требования к морозостойкости бетона конструкций</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Условия работы конструкций</th> <th rowspan="2">Марка бетона по морозостойкости не ниже</th> </tr> <tr> <th>Характеристика режима</th> <th>Расчетная зимняя температура наружного воздуха</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">Попеременное замораживание и оттаивание: в насыщенном состоянии при действии морской воды, минерализованных, в том числе надмерзлотных вод, противогололедных реагентов</td> <td>Ниже -40°C</td> <td>F₂450</td> </tr> <tr> <td>Ниже -20 до -40°C включ</td> <td>F₂300</td> </tr> <tr> <td>Ниже -5 до -20°C включ</td> <td>F₂200</td> </tr> <tr> <td>- 5°C и выше</td> <td>F₂100</td> </tr> </tbody> </table>		Условия работы конструкций		Марка бетона по морозостойкости не ниже	Характеристика режима	Расчетная зимняя температура наружного воздуха	Попеременное замораживание и оттаивание: в насыщенном состоянии при действии морской воды, минерализованных, в том числе надмерзлотных вод, противогололедных реагентов	Ниже -40°C	F ₂ 450	Ниже -20 до -40°C включ	F ₂ 300	Ниже -5 до -20°C включ	F ₂ 200	- 5°C и выше	F ₂ 100	<p>СП 34.13330 Минимальные проектные марки по морозостойкости</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Конструктивный слой дорожной одежды</th> <th colspan="3">Минимальные проектные марки бетона по морозостойкости F для районов со среднемесячной температурой воздуха наиболее холодного месяца, °C</th> </tr> <tr> <th>От 0 до минус 5</th> <th>От минус 5 до минус 15</th> <th>Ниже минус 15</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Покрытие</td> <td>100</td> <td>150</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>Основание</td> <td>25</td> <td>50</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table>	Конструктивный слой дорожной одежды	Минимальные проектные марки бетона по морозостойкости F для районов со среднемесячной температурой воздуха наиболее холодного месяца, °C			От 0 до минус 5	От минус 5 до минус 15	Ниже минус 15	Покрытие	100	150	200	Основание	25	50	50
Условия работы конструкций		Марка бетона по морозостойкости не ниже																													
Характеристика режима	Расчетная зимняя температура наружного воздуха																														
Попеременное замораживание и оттаивание: в насыщенном состоянии при действии морской воды, минерализованных, в том числе надмерзлотных вод, противогололедных реагентов	Ниже -40°C	F ₂ 450																													
	Ниже -20 до -40°C включ	F ₂ 300																													
	Ниже -5 до -20°C включ	F ₂ 200																													
	- 5°C и выше	F ₂ 100																													
Конструктивный слой дорожной одежды	Минимальные проектные марки бетона по морозостойкости F для районов со среднемесячной температурой воздуха наиболее холодного месяца, °C																														
	От 0 до минус 5	От минус 5 до минус 15	Ниже минус 15																												
Покрытие	100	150	200																												
Основание	25	50	50																												
<p>Образцы изготавливают и испытывают на сжатие сериями по ГОСТ 10180. Образцы распалубливают не ранее чем через 24 ч и не позднее чем через 72 ч. После распалубливания образцы помещают в камеру с нормальными условиями твердения: температура (20 ± 2)°C, относительная влажность воздуха (95 ± 5)%.</p>	<p>Образцы в формах укрывают влажной тканью, опилками и т.п. и хранят в помещении с температурой 15-20°C в течение двух суток, после чего вынимают из форм и на противоположной лицевой стороне поверхности маркируют номер партии и дату изготовления. Затем образцы помещают в камеру влажного хранения, где относительная влажность должна быть не менее 90%, а температура - в пределах 15-20°C, или укладывают в насыщенный водой песок или в опилки, постоянно поддерживаемые во влажном состоянии.</p>	<p>CEN/TS 12390-9:2006, PD CEN/TR 15177</p> <p>В течение первых суток после изготовления кубики должны храниться в формах и защищаться от высыхания под полиэтиленовой пленкой. Температура воздуха составляет (20 ± 2) °C.</p> <p>Через (24 ± 2) ч кубики извлекают из формы и помещают в емкость, заполненную водопроводной водой, при температуре (20 ± 2) °C.</p> <p>В возрасте 7 дней кубики извлекаются из воды и помещаются в климатическую камеру, где хранятся до начала испытаний.</p>																													

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ БЕТОНА НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

	РФ		EN																			
Проведение испытаний Квалификация результатов испытаний	Марки бетона по морозостойкости по первому базовому методу: F₁50, F₁75, F₁100, F₁150, F₁200, F₁300, F₁400, F₁500, F₁600, F₁800, F₁1000. по второму базовому методу: F₂100, F₂150, F₂200, F₂300, F₂400, F₂500, F₂600, F₂800, F₂1000	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Наименование показателя</th> <th colspan="3">Климатические условия</th> </tr> <tr> <th>мягкие</th> <th>умеренные</th> <th>суровые</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Количество циклов замораживания - оттаивания</td> <td>75</td> <td>100</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>Потери в массе после испытания, %, не более</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Снижение прочности на сжатие, %, не более</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование показателя	Климатические условия			мягкие	умеренные	суровые	Количество циклов замораживания - оттаивания	75	100	125	Потери в массе после испытания, %, не более	3	3	3	Снижение прочности на сжатие, %, не более	15	15	15	XF1 XF2 XF2(H) XF3 XF3(H) XF4 XF(H) Предписанное количество циклов замораживания-оттаивания вне зависимости от способа исследования: <ul style="list-style-type: none"> - в случае проектного срока эксплуатации 50 лет n = 56 циклов, - в случае проектного срока эксплуатации 100 лет n = 84 цикла
		Наименование показателя		Климатические условия																		
мягкие	умеренные		суровые																			
Количество циклов замораживания - оттаивания	75	100	125																			
Потери в массе после испытания, %, не более	3	3	3																			
Снижение прочности на сжатие, %, не более	15	15	15																			

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ БЕТОНА НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

Проведение испытаний
Среда испытаний

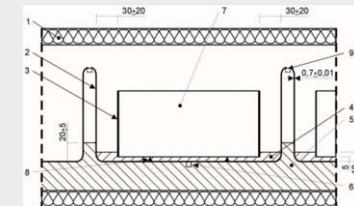
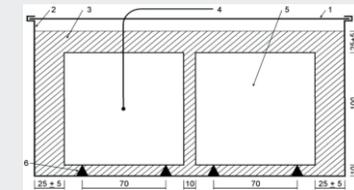
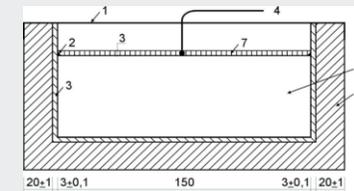
РФ



Замораживание на воздухе, замораживание в 5% растворе NaCl, оттаивание в пресной воде, оттаивание в 5% растворе NaCl при полном погружении.

Замораживание и оттаивание в 5% растворе NaCl при частичном погружении на глубину: не менее 0,5 см - для образца-плитки, 1,5 см - образца-куба со стороной 15см; 2,0 см - образца-керна.

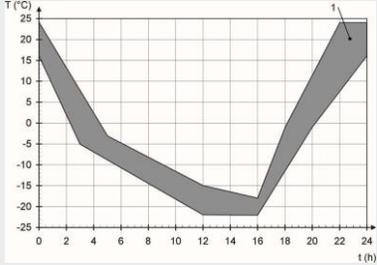
EN



Замораживание и оттаивание в воде/3% растворе NaCl.

Для испытаний кубов с ребром 150 мм рекомендуется использовать четыре образца (900 см²), а для образцов, отобранных из конструкций, рекомендуется площадь 400 см².

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ БЕТОНА НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

	РФ	EN																												
Определение температуры	<p>Началом замораживания считают момент установления в камере температуры минус 16 °С (базовый метод). После загрузки камеры температуру понижают в течение 2-3 ч до установления в водном растворе хлорида натрия температуры минус 10°С. Затем температуру понижают в течение (2,5±0,5) ч до установления в водном растворе хлорида натрия температуры минус 50°С-55°С (ускоренный метод)</p> 	<p>Температура замеряется на уровне половины высоты камеры. Начало процесса замораживания считается с момента установления температуры минус 15°</p> <p>Температура замеряется в центре образца, на поверхности образца, в растворе NaCl</p>  <table border="1"><caption>Temperature vs. Time Data from Graph</caption><thead><tr><th>t (h)</th><th>T (°C)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>20</td></tr><tr><td>2</td><td>10</td></tr><tr><td>4</td><td>-10</td></tr><tr><td>6</td><td>-15</td></tr><tr><td>8</td><td>-18</td></tr><tr><td>10</td><td>-20</td></tr><tr><td>12</td><td>-20</td></tr><tr><td>14</td><td>-20</td></tr><tr><td>16</td><td>-20</td></tr><tr><td>18</td><td>-15</td></tr><tr><td>20</td><td>-10</td></tr><tr><td>22</td><td>-5</td></tr><tr><td>24</td><td>15</td></tr></tbody></table>	t (h)	T (°C)	0	20	2	10	4	-10	6	-15	8	-18	10	-20	12	-20	14	-20	16	-20	18	-15	20	-10	22	-5	24	15
t (h)	T (°C)																													
0	20																													
2	10																													
4	-10																													
6	-15																													
8	-18																													
10	-20																													
12	-20																													
14	-20																													
16	-20																													
18	-15																													
20	-10																													
22	-5																													
24	15																													

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ БЕТОНА НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

	РФ		EN
Оценка	Относительное изменение массы, %	Относительное изменение массы, %	Масса фильтрата по отношению к площади образца, кг/м ²
Определение потери массы	Взвешивание образца	Взвешивание образца	Взвешивание фильтрата (отслоившейся массы)
Критерий качества	<p>ГОСТ 10060 Снижение прочности на сжатие не более 10% по сравнению с контрольными образцами с учетом доверительного интервала, уменьшение массы не более 2 %, и на образцах отсутствуют трещины, сколы, шелушение ребер.</p> <p>ГОСТ 17608 Снижение прочности бетона на сжатие не более 5%, при условии, что количество материала, отделившегося от лицевой поверхности образцов, не более 500 г/м²</p>	Снижение прочности на сжатие не более 15% по сравнению с контрольными образцами эквивалентного возраста, уменьшение массы не более 3 %, и на образцах отсутствуют трещины, сколы, шелушение ребер.	<p>1) Количество отслоенного материала измеряется на 7, 14, 28, 42 и 56 циклов и учитывается в пересчете на сухой материал на м² бетона. В 56 циклов бетон оценивается по следующей шкале: ПРИЕМЛЕМЫЙ < 1 кг/м²; ХОРОШО < 0,5 кг/м²; ОЧЕНЬ ХОРОШО < 0,1 кг/м², При дополнительном требовании о том, что шелушение после последних 28 циклов должно быть меньше первых 28 циклов.</p> <p>2) Если после исследования морозостойкости (после предписанного количества циклов) и точность формы и размеров образцов-кубов позволяет выполнять испытание прочности, необходимо определять прочность после предписанного числа циклов. Снижение прочности на сжатие : ≤25% в классе среды XF1, ≤20% в классах среды XF2, XF2(H), XF3 и XF3(H), ≤15% в классах среды XF4 и XF4(H).</p> <p>3) Изменения динамического модуля упругости</p>

4. Определение морозостойкости бетона свай. Методы испытаний - ГОСТ 10060-2012
Таблица 5

№ обр.	Прочность на сжатие, МПа		Масса основных образцов, г		Среднее уменьшение массы образцов, %	Нижняя граница доверительного интервала		Заключение по результатам испытаний
	контрольных образцов	основных образцов	до испытания	после испытания		контрольных образцов X _{кп} с коэффициентом 0,9	основных образцов после испытания X _{кп}	
Класс бетона В30								
1	40,4	40,2	2388	2379	0,38			
2	40,2	39,8	2385	2377	0,34			
3	40,5	40,2	2399	2391	0,33			
4	40,2	40,1	2394	2388	0,25			
5	41,5	41,2	2402	2400	0,08	39,1±0,9=35,2	38,9	F ₂₀₀
6	41,8	40,8	2392	2387	0,21			
	Ср.40,8	Ср.40,4			Ср.0,26			

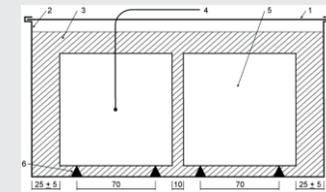
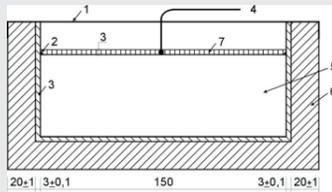
Нормативное значение не >2 X_{кп} и > 0,9 X_{кп}¹

¹ трещины, сколы, шелушения после 5 циклов испытаний при T⁺ минус (50±2) отсутствуют

ИСПЫТАНИЯ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА

Исследование морозостойкости и стойкости к шелушению поверхности бетона

Исследование морозостойкости и стойкости к шелушению бетона при погружении куба

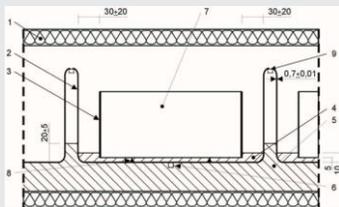


Параметр исследований	Вариант „А” Исследование морозостойкости и стойкости к шелушению	Вариант „Б” Исследование морозостойкости и стойкости к шелушению
Замораживающая среда	деионизованная вода глубиной 3 мм	3% раствор NaCl глубиной 3 мм
Вес шелушенного материала в зависимости от класса среды г/м ²	В случае XF1 – в среднем: 1500, – не более: 2000	в случае XF2 и XF2(H): – в среднем: 1500, – не более: 2000
	В случае XF3 и XF3(H) – в среднем: 1000, – не более: 1350	В случае XF4 и XF4(H): – в среднем: 1000, – не более: 1350

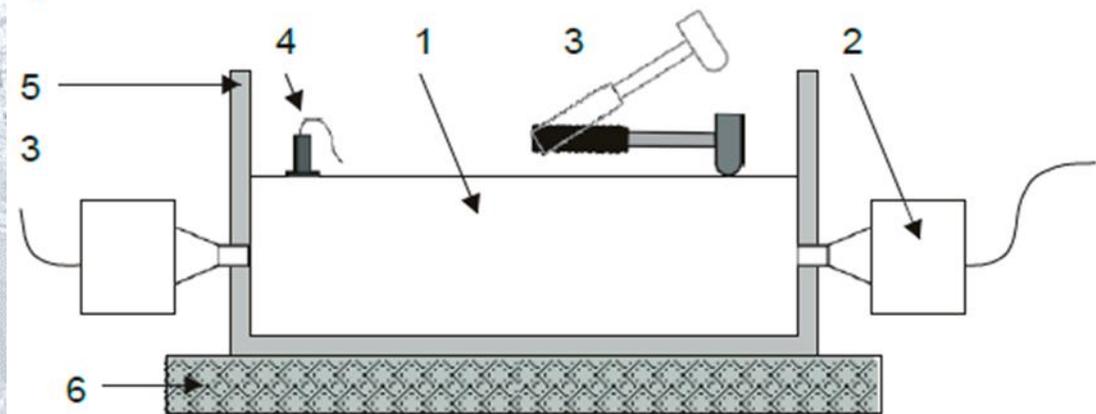
Параметр исследований	Вариант „А” Исследование морозостойкости и стойкости к шелушению	Вариант „Б” Исследование морозостойкости и стойкости к шелушению
Замораживающая среда	Образец на (25±5) мм покрытый деионизованной водой	Образец на (25±5) мм покрытый 3% раствором NaCl
Вес шелушенного материала в зависимости от класса среды, в процентах массы	В случае XF1 – в среднем: 6,5, – не более: 7,5	В случае XF2 и XF2(H) – в среднем: 6,5, – не более: 7,5
	В случае XF3 и XF3(H) – в среднем : 4,0, – не более: 5,0	в случае XF4 и XF4(H): – в среднем : 4,0, – не более: 5,0

ИСПЫТАНИЯ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА

Исследование морозостойкости и стойкости к шелушению бетона при капиллярном подсосе



Исследования степени структурных повреждений при замораживании -оттаивании



Допустимые изменения динамического модуля упругости ($RDM_{УРТТ,n}$):
 в классе среды XF1 - $RDM_{УРТТ,n} \geq 70\%$,
 в классах среды XF2, XF2(H), XF3 и XF3(H) - $RDM_{УРТТ,n} \geq 80\%$,
 в классах среды XF4 и XF4(H) - $RDM_{УРТТ,n} \geq 90\%$.

Параметр исследований	Вариант „А” Исследование морозостойкости и стойкости к шелушению	Вариант „Б” Исследование морозостойкости и стойкости к шелушению
Замораживающая среда	деионизованная вода глубиной 10 мм	3% раствор NaCl глубиной 10 мм
Вес шелушенного материала в зависимости от класса среды, г/м ²	В случае XF1 – в среднем: 1500, – не более: 2000	В случае XF2 и XF2(H) – в среднем: 1500, – не более: 2000
	В случае XF3 и XF3(H) – в среднем: 1000, – не более: 1350	В случае XF4 и XF4(H): – в среднем: 1000, – не более: 1350

ТРЕБОВАНИЯ К ПАРАМЕТРАМ ПУЗЫРЬКОВ ВОЗДУХА МОРОЗОСТОЙКОГО И УСТОЙЧИВОГО К ШЕЛУШЕНИЮ БЕТОНА, ИЗГОТОВЛЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗДУХОВОВЛЕКАЮЩИХ ДОБАВОК EN 206 (MSZ 4798)

Класс среды	XF2 и XF3	XF4
Коэффициент расстояния, максимум, мм	0,22	0,18
Эффективное количество пузырьков воздуха номинальным диаметром менее 0,3 мм, в объёмных процентах, не менее	1,2	2,1

ПРИМЕЧАНИЕ: Структура пузырьков воздуха в бетоне (коэффициент расстояния и количество пузырьков воздуха номинальным диаметром менее 0,3 мм) определяется согласно MSZ EN 480-11.
Для оценки структуры пузырьков воздуха в бетоне также важно знание точного состава бетона.

ТРЕБОВАНИЯ К ПАРАМЕТРАМ ПУЗЫРЬКОВ ВОЗДУХА МОРОЗОСТОЙКОГО И УСТОЙЧИВОГО К ШЕЛУШЕНИЮ БЕТОНА, ИЗГОТОВЛЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗДУХОВОВЛЕКАЮЩИХ ДОБАВОК EN 206 (TS EN 13515)

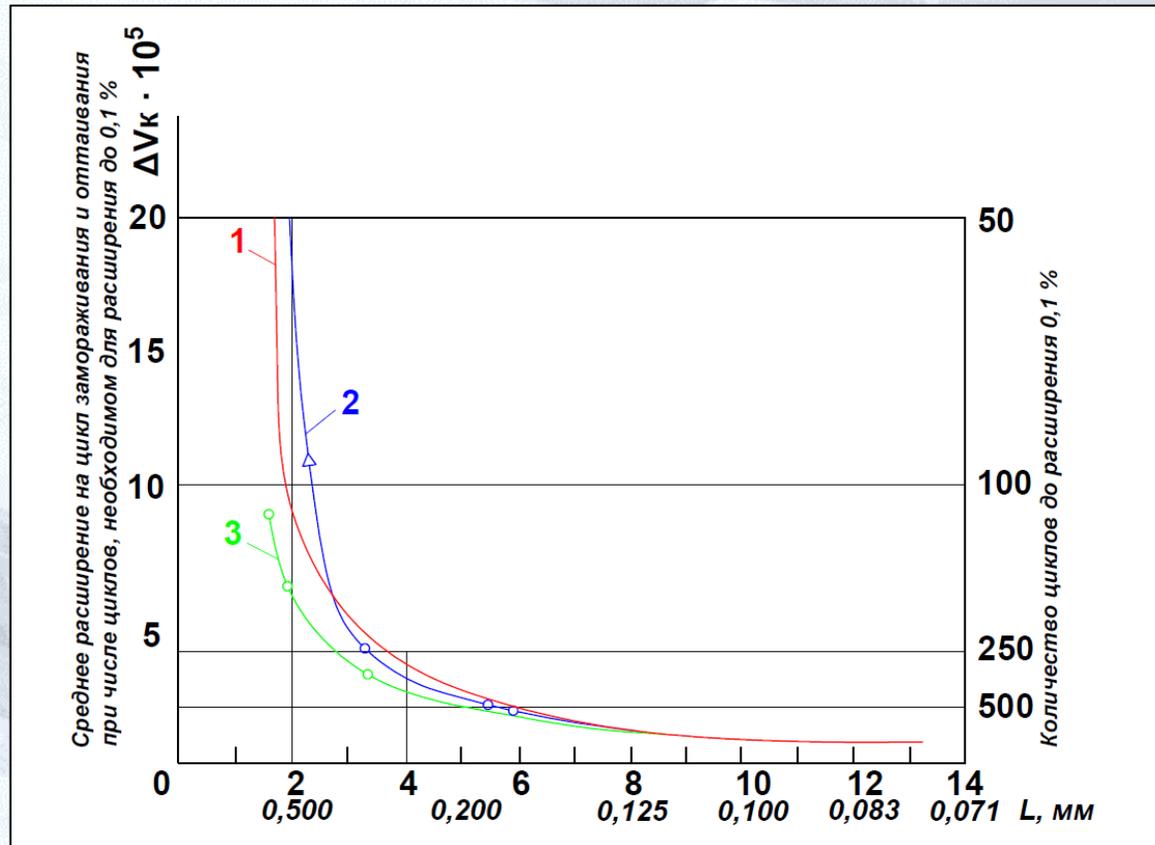
В случае использования в бетоне одной или нескольких химических воздухововлекающих добавок для обеспечения устойчивости к замораживанию и оттаиванию необходимо провести испытания на подготовленных образцах в соответствии со стандартом TS EN 480-11 «Определение характеристик воздушных пор в затвердевшем бетоне».

В результате испытания, проведенного согласно TS EN 480-11, содержание воздушных пор в бетоне должно быть не менее 4,0%, а расстояние между порами должно составлять не более 0,20 мм.

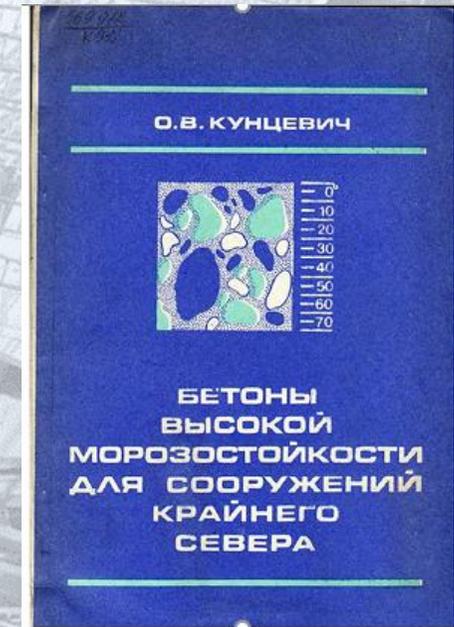
В зависимости от условий замораживания и оттаивания, которым подвергается бетон в реальных условиях окружающей среды, при взаимном согласии сторон, требуется подтверждение его долговечности:

проводятся испытания по стандартам CEN/TS 12390-9 и/или PD CEN/TR 15177.

ЗАВИСИМОСТЬ МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОНА ОТ ФАКТОРА РАССТОЯНИЯ L



- 1 – усредненные данные для бетонов различного состава
- 2 – для бетонов с В/Ц = 0,67
- 3 – для бетонов с В/Ц = 0,36



УСЛОВНО-ЗАМКНУТЫЕ ПОРЫ

Условно-замкнутые поры – поры размером 10-500 мкм, образуемые включениями пузырьков воздуха, недоступные для насыщения водой при обычных условиях: (атмосферное давление (750 ± 10) мм рт.ст., температура (20 ± 5) °С). Эффективные воздушные поры имеют размер 25 (50)-300 мкм

Замкнутая пористость неоднозначно определяет морозостойкость бетона. Это связано с неравномерностью распределения резервных пор по объему бетона, а также недостаточной прочностью цементного камня под действием гидравлического давления с учетом его неоднородности.

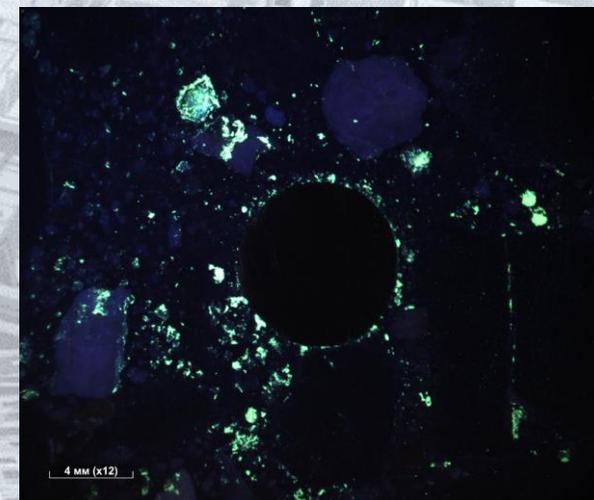
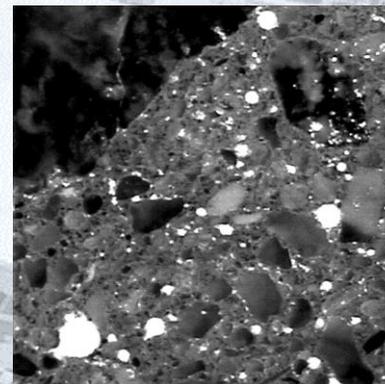
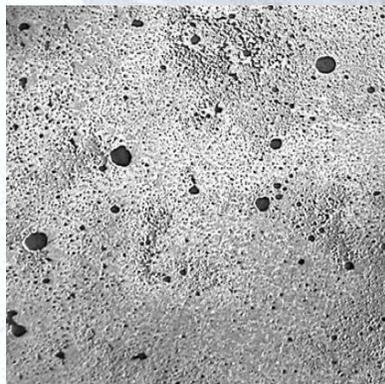
Суммарный объем пор	Пп - 15-20 %
Объем открытых пор	По - 10-15 %
Объем условно-замкнутых пор	Пуз - 3-7 %

(Методические рекомендации по контролю качества поровой структуры дорожного бетона)

Пуз. > 0,09Пп
(Морозостойкость бетонов транспортных сооружений и пути ее повышения. Л.М.Добшиц)

Применение метода анализа структуры по ГОСТ Р 70753-2023 «Бетоны. Метод микроскопического количественного анализа структуры»

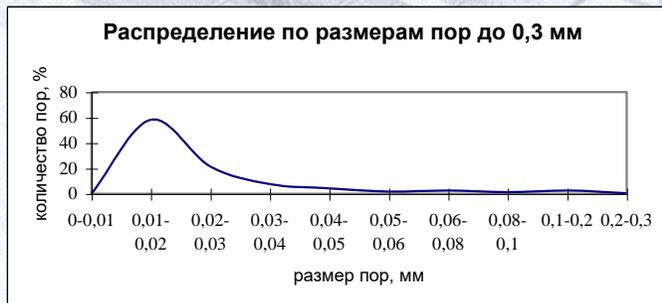
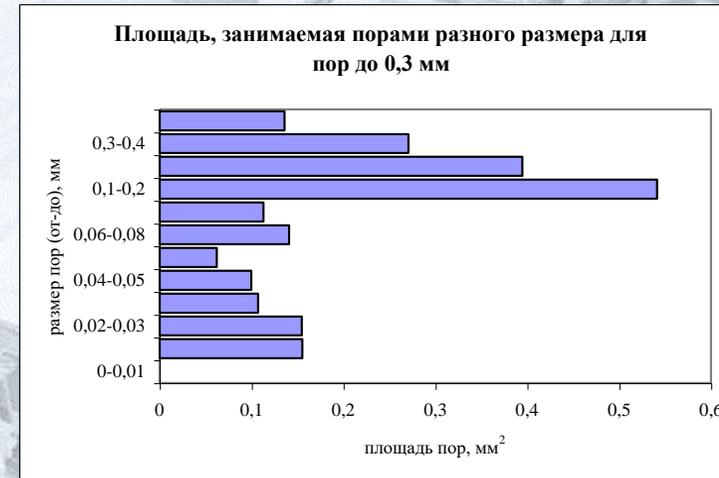
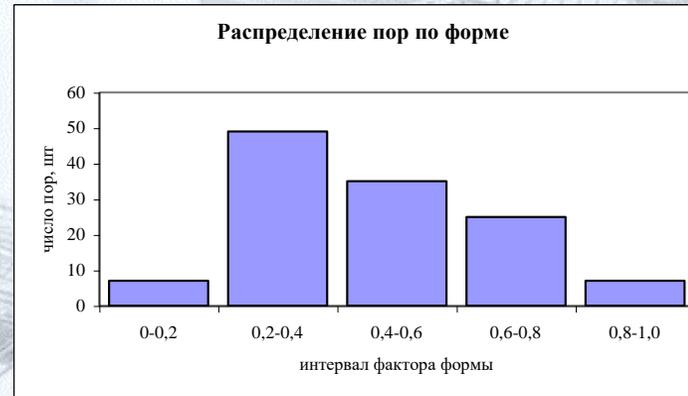
1. Контроль и анализ структуры воздушных пор в бетоне.
2. Анализ влияния вида воздухововлекающих добавок на структуру воздушных пор.
3. Анализ влияния состава и технологии бетона на структуру воздушных пор.
4. Анализ влияния состава и технологии на развитие дефектов структуры в бетоне, состояние контактной зоны, сцепления арматуры и пр.
5. Анализ технологии и качества смазки (разделительной жидкости) на качество поверхности изделий



ПАРАМЕТРЫ ПОРИСТОСТИ БЕТОНА

Параметры условно замкнутой пористости бетона КАЭС, градирня № 1, высота 73,6 ось 16

Пористость, (%)	3,26878
Общая анализируемая площадь, мм ²	66,5677
Численное содержание пор в единице объема (1/мм ³)	789,405
Средняя толщина междупоровых перегородок, мм	0,38472
Число пор в плоскости шлифа	1520
Общий периметр пор, мм	119,243
Общая площадь пор, мм ²	2,17595
Средняя площадь пор, мм ²	0,00143
Средний периметр, мм	0,07845
Средний диаметр, мм	0,02753
Средний фактор формы	0,46098
Максимальный диаметр, мм	0,41636
Минимальный диаметр, мм	0,01142
Количество пор размером до 0,3 мм	1516
Общая площадь пор размером до 0,3 мм, мм ²	1,76917
Количество пор размером более 0,3 мм	4
Общая площадь пор размером более 0,3 мм, мм ²	0,40678



ВЫВОДЫ

- 1. Существующие стандартные методы определения морозостойкости и определение «марки по морозостойкости» не позволяют объективно оценить эксплуатационные характеристики бетона, особенно в условиях одновременного действия антигололедных реагентов и мороза.**
- 2. Не может быть единых методов оценки эксплуатационных свойств бетона в условиях воздействия пресной воды и мороза и раствора антигололедных реагентов и мороза.**
- 3. Не может существовать универсальных ускоренных методов и коэффициентов ускорения бетонов различных составов при оценке морозостойкости и при использовании в качестве механизма ускорения замены пресной воды на раствор NaCl и снижение температуры.**
- 4. На морозостойкость бетона влияет множество факторов. Уже при учете 15 важнейших факторов и трех вариациях каждого из них, число возможных сочетаний -680. Это делает нереальным точный расчет морозостойкости. Поэтому не могут существовать цифровые модели определения морозостойкости бетона.**
- 5. Установленные количественные нормативные значения марок по морозостойкости не соответствуют статистическим данным по температурным процессам на поверхности и в объеме бетона и являются условными. Для подтверждения безопасности и надежности бетонных и железобетонных конструкций следует перейти от назначения «марок по морозостойкости» к качественной шкале и нормированию требований с учетом условий эксплуатации конструкции и жизненного цикла сооружения.**
- 6. Оценка деградации свойств, результат испытаний на морозостойкость должны соответствовать признаку отказа или нарушению уровня эксплуатационного состояния. Испытания на морозостойкость следует проводить последовательно на одной серии образцов.**
- 7. Следует гармонизировать нормы, методы испытаний бетона и разработать систему требований к составу и показателям качества бетона на основе современных методов оценки структуры и свойств для подтверждения эксплуатационной надежности бетона в различных условиях.**

18 - 20 октября 2023 г. Москва, Экспоцентр
XXV МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ
ЦЕМЕНТ БЕТОН СУХИЕ СМЕСИ 2023

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



ООО ИНЖЕНЕРНАЯ КОМПАНИЯ «НИИЖБ»
2023