

УДК 691.32:620.193.01

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-2\(627\)-43-53](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-2(627)-43-53)**Г.В. ЧЕХНИЙ^{1,✉}, А.В. БУЧКИН¹, Н.К. РОЗЕНТАЛЬ², С.А. ОРЕХОВ¹**

¹ Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ОТТАИВАНИЯ ОБРАЗЦОВ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА ПО РЕЖИМУ УСКОРЕННОГО ТРЕТЬЕГО МЕТОДА ГОСТ 10060–2012 С ИЗМЕНЕНИЕМ № 1

Аннотация

Введение. В связи с введением Изменения № 1 к ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» возросло количество обращений в НИИЖБ, связанных с вопросами применения различных климатических автоматических камер для выполнения испытаний по определению морозостойкости бетона. Анализ конструктивных решений и принципа работы представленных на российском рынке климатических камер показал, что в большинстве камер процесс оттаивания происходит либо с обдувом теплым воздухом, либо реализован неполным погружением емкостей с образцами в раствор 5%-ного хлорида натрия, т. е. является отклонением от нормативных требований. Необходимо отметить, что единица измерения морозостойкости (т. е. цикла замораживания – оттаивания) является условной величиной, применение такой единицы измерения требует проведения испытаний в строго нормируемых условиях. Различные подходы к изменению методики проведения испытаний бетона на морозостойкость, включая способ оттаивания образцов после замораживания, могут стать причиной недостоверной оценки качества бетона, что в реальных условиях приведет к снижению безопасности объектов строительства.

Цель. Оценка влияния различных способов оттаивания образцов в процессе выполнения цикла замораживания и оттаивания по режиму ускоренного третьего метода ГОСТ 10060-2012 с Изменением № 1 на морозостойкость бетона.

Материалы и методы. Приведены результаты определения морозостойкости бетона по режиму ускоренного третьего метода ГОСТ 10060-2012 с Изменением № 1 с различными способами оттаивания образцов – в условиях полного или неполного погружения емкостей с образцами в среду оттаивания (раствор 5%-ного хлорида натрия) и в условиях обдува емкостей с образцами теплым воздухом.

Результаты. На основании результатов экспериментальных исследований рассчитаны коэффициенты перехода (K) от марки бетона по морозостойкости, определенной при оттаивании в условиях неполного погружения емкостей с образцами в раствор 5%-ного хлорида натрия и обдува емкостей с образцами теплым воздухом, к марке бетона, определенной стандартным методом с оттаиванием образцов в ванне с раствором 5%-ного хлорида натрия.

Для бетонов различных марок по морозостойкости получены следующие средние коэффициенты K соответственно для $F_{1,200}$ – $F_{1,300}$ / $F_{1,400}$ – $F_{1,500}$: $K = 0,7/0,6$ при оттаивании образцов при неполном погружении емкостей с образцами в раствор 5%-ного хлорида натрия; $K = 0,8/0,9$ при оттаивании образцов в условиях обдува образцов теплым воздухом.

Выводы. Определение морозостойкости бетона ускоренным третьим методом с оттаиванием после замораживания емкостей с образцами в ванне с раствором 5%-ного хлорида натрия является оптимальным с точки зрения наиболее негативного влияния на морозостойкость бетона. При этом наиболее «жестким» оказался способ оттаивания образцов при неполном погружении

в раствор 5%-ного хлорида натрия. Режим воздушного оттаивания образцов за счет обдува емкостей с образцами теплым воздухом показал значительный разброс определяемых показателей – прочности на сжатие и массы. Коэффициент вариации переходных коэффициентов для данного способа оттаивания значительно превышает нормативное значение, равное 9 %.

Ключевые слова: морозостойкость бетона, замораживание, способ оттаивания образцов, температурный режим испытания, переходный коэффициент, нормативные условия, критическое значение

Для цитирования: Чехний Г.В., Бучкин А.В., Розенталь Н.К., Орехов С.А. Оценка влияния способа оттаивания образцов на морозостойкость бетона по режиму ускоренного третьего метода ГОСТ 10060-2012 с Изменением № 1 // *Бетон и железобетон*. 2025. № 2 (627). С. 43–53. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-2\(627\)-43-53](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-2(627)-43-53). EDN: DEPBKV

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 10.02.2025

Поступила после рецензирования 24.03.2025

Принята к публикации 27.03.2025

G.V. CHEKHNI¹, A.V. BUCHKIN¹, N.K. ROZENTAL², S.A. OREKHOV¹

¹ Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

² JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF THE SAMPLE THAWING METHOD ON THE FROST RESISTANCE OF CONCRETE ACCORDING TO THE ACCELERATED THIRD METHOD OF THE STATE STANDARD 10060–2012 WITH AMENDMENT No. 1

Abstract

Introduction. In connection with the introduction of the Amendment No. 1 to State Standard 10060-2012 "Concretes. Methods for determining frost resistance" the Institute has received an increased number of requests related to the use of various climatic automatic chambers to perform tests to determine the frost resistance of concrete. An analysis of the design solutions and the principle of operation of climate chambers presented

on the Russian market has shown that in most chambers the thawing process occurs either with warm air blowing, or is implemented by incomplete immersion of sample containers in a solution of 5 % sodium chloride, i. e. it is a deviation from the regulatory requirements. It should be noted that the unit of measurement for frost resistance (i. e., the freeze-thaw cycle) is a conditional value and the use of such a unit of measurement requires testing under strictly regulated conditions. Various approaches

to changing the methods of concrete testing for frost resistance, including the method of samples thawing after freezing, can lead to an unreliable assessment of the quality of concrete, that in real conditions will lead to a decrease of the safety of construction sites.

Aim. Assessment of the effect of various methods of thawing samples during the cycle of freezing and thawing according to the accelerated third method of the State Standard 10060-2012 with Amendment No. 1 on the frost resistance of concrete.

Materials and methods. The results of determining of the frost resistance of concrete according to the accelerated cooling regime of State Standard 10060-2012 with Amendment No. 1 are presented with various methods of samples thawing – under conditions of complete or incomplete immersion of sample containers in a thawing medium – a solution of 5 % sodium chloride and under conditions of blowing sample containers with warm air.

Results. Based on the results of experimental studies, the coefficients of transition (K) from the grade of concrete in terms of frost resistance, determined by thawing under conditions of incomplete immersion of sample containers in a solution of 5 % sodium chloride and blowing warm air into sample containers, to the grade of concrete, determined by the standard method of samples thawing in a bath with a solution of 5 % sodium chloride.

The following average K coefficients were obtained for concretes of various grades in terms of frost resistance, respectively, for $F_{1,200}$ – $F_{1,300}$ / $F_{1,400}$ – $F_{1,500}$: $K = 0.7/0.6$ when samples are thawed when sample containers are not fully immersed in a solution of 5 % sodium chloride; $K = 0.8/0.9$ with samples thawing under conditions of blowing samples with warm air.

Conclusions. The determination of the frost resistance of concrete by the accelerated third method with thawing after freezing sample containers in a bath with a solution of 5 % sodium chloride is optimal in terms of the most

negative effect on the frost resistance of concrete. At the same time, the method of samples thawing with incomplete immersion in a solution of 5 % sodium chloride turned out to be the most "harsh". The regime of thawing of samples by blowing warm air into sample containers showed a significant variation in the determined parameters – compressive strength and mass. The coefficient of variation of the transition coefficients for this method of thawing significantly exceeds the standard value of 9 %.

Keywords: frost resistance of concrete, freezing, samples thawing method, temperature regime of testing, transition coefficient, regulatory conditions, critical value

For citation: Chekhni G.V., Buchkin A.V., Rozental N.K., Orekhov S.A. Assessment of the effect of the sample thawing method on the frost resistance of concrete according to the accelerated third method of the State Standard 10060-2012 with Amendment No. 1. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 2 (627), pp. 43–53. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-2\(627\)-43-53](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-2(627)-43-53). EDN: DEPBKB

Authors contribution statement

All authors have contributed equally to the work and this publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 10.02.2025

Revised 24.03.2025

Accepted 27.03.2025

Оценка морозостойкости/морозосолеустойкости бетона базовыми методами (первым и вторым) требует проведения длительных испытаний, вплоть до года. Ускоренный третий метод по ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» [1] с насыщением образцов, замораживанием их в емкостях с раствором 5%-ного хлорида натрия в климатической камере тепла и холода (далее – камера), а затем оттаиванием в условиях полного погружения емкостей с образцами в ванне с раствором 5%-ного хлорида натрия (далее – раствор) является наиболее востребованным.

Ранее [2] был уточнен температурный режим замораживания по ускоренному третьему методу ГОСТ 10060-2012 [1]. Установлено, что время, необходимое для промерзания бетона в образцах размерами 100 × 100 × 100 мм до температуры минус 50 °С, примерно на 2 ч больше, чем показания температуры минус 50 °С по датчику воздуха в камере (рис. 1). Показания термометров сопротивления в растворе (вблизи образца бетона в емкости) и в бетонном образце примерно одинаковы и, учитывая простоту замера температуры в растворе, в дальнейшем принято ориентироваться на замеры температуры в растворе вблизи образца.

С сентября 2022 года введено в действие [3], в котором установлены новые правила контроля температурного режима при определении морозостойкости ускоренным третьим методом с контролем температуры раствора.

Трудоемкость выполнения испытания по ускоренному третьему методу ГОСТ 10060-2012 с Изменением № 1 [3] с выемкой емкостей с бетонными образцами из камеры после замораживания для последующего оттаивания их в ванне, оборудованной

устройством, обеспечивающим поддержание температуры раствора (20 ± 2) °С, затруднило использование камер воздушного оттаивания (без погружения емкостей с образцами в раствор) или неполном погружении емкостей с образцами в раствор (без выемки из камеры), в непрерывном автоматическом режиме работы. При этом сравнительных испытаний, выполняемых по ГОСТ 10060-2012 [1], с оттаиванием образцов в емкостях в ваннах, на автоматических, полуавтоматических камерах, позволяющих выполнять в течение суток двух и более циклов замораживания и оттаивания, проведено не было.

Отсутствие данных по влиянию различных способов оттаивания образцов на морозостойкость бетона и запрос строительной отрасли по вопросу, касающегося потребителей автоматических камер по всей стране, показали необходимость выполнения работы в НИИЖБ им. А. А. Гвоздева по оценке влияния различных способов оттаивания образцов после замораживания по режиму ускоренного третьего метода на определение марки бетона по морозостойкости с целью подготовки уточнений и дополнений Изменения № 1 ГОСТ 10060-2012 [3].

В качестве исторической справки необходимо отметить, что режим оттаивания испытываемых образцов в специальной ванне с водой при определении морозостойкости бетона введен в состав ГОСТ 10060-62 [4, 5]. В стандарт 1987 г. [6] введен ускоренный метод для бетонов дорожных и аэродромных покрытий, при выполнении которого образцы, предварительно насыщенные в ванне раствором, замораживают в емкостях с раствором, выдерживают при температуре (50 ± 2) °С и оттаивают вначале до температуры минус 10 °С в камере, а затем выгружаются в ванну для оттаивания в условиях полного погружения в раствор. Емкости с заморо-

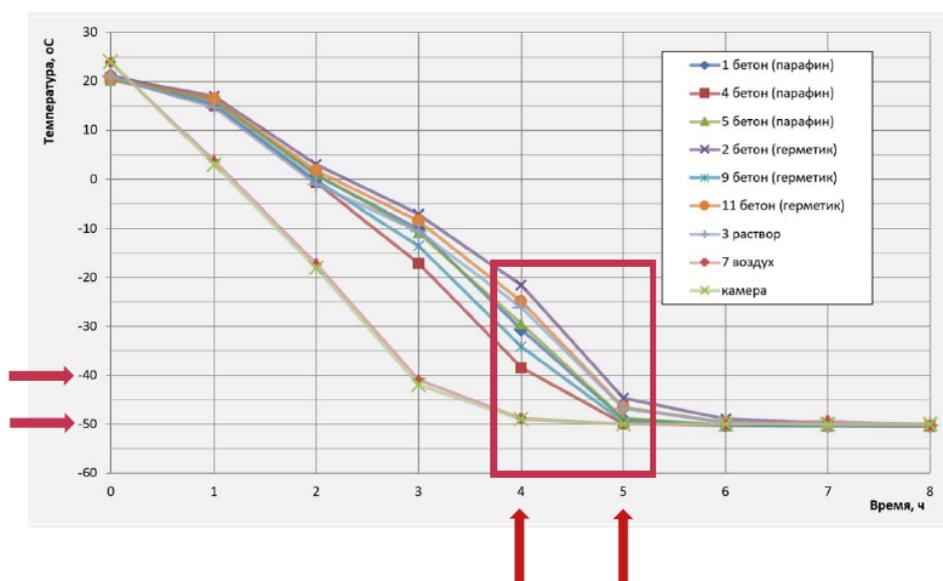


Рис. 1. Режим замораживания образцов размерами 100 × 100 × 100 мм, зафиксированный по датчикам в различных средах
 Fig. 1. The freezing mode of samples measuring 100 × 100 × 100 mm, recorded by sensors in various environments

женными образцами устанавливаются так, чтобы каждая из них была окружена со всех сторон слоем раствора хлорида натрия толщиной не менее 50 мм.

Известно, что от скорости замораживания бетона зависит степень морозного повреждения бетона. При быстром замораживании затруднен отток воды через капилляры из зоны замерзания, что повышает гидравлическое давление и ускоряет разрушение бетона. В работе В. М. Москвина [7] показано, что в процессе оттаивания бетона при повышении температуры от минус 55 до 20 °С наблюдается дополнительный рост деформаций расширения цементного камня и бетона (пунктирные кривые, рис. 2), который вызван температурным расширением льда, накопившегося в крупных порах в процессе замораживания, что указывает на возможность дополнительного разрушения цементного камня и бетона в процессе оттаивания. Анализ деформаций образцов в процессе замораживания и оттаивания показал, что часть деформаций расширения бетона носит необратимый характер и проявляется в виде остаточных деформаций образцов после оттаивания [7]. То есть процесс оттаивания образцов играет определенную негативную роль в цикле замораживания и оттаивания бетона и требует выполнения процесса оттаивания в строго нормируемых условиях с учетом периода насыщения водой/раствором соли, времени выдержки, температуры и т. д.

В современных автоматических камерах температурный режим замораживания и оттаивания задается

по температуре воздушной среды. Однако такая автоматическая система не позволяет сразу задать режим испытания по изменению температуры в бетонных образцах или растворе. Следует предварительно подобрать температурный режим в камере (по температуре воздушной среды), чтобы обеспечивался режим по изменению температуры раствора в емкости с образцом. При этом режим испытания будет зависеть от размеров испытываемых образцов и объема загрузки камеры.

В связи со сказанным, перед началом исследования были отработаны режимы цикла замораживания и оттаивания (ЦЗО) образцов в автоматических и полуполуавтоматических камерах.

Экспериментальные исследования выполнялись на двух марках бетона по морозостойкости: $F_{1,200}$ – $F_{1,300}$ (1-я группа) и $F_{1,400}$ – $F_{1,500}$ (2-я группа). Согласно [1, Приложение Б] для установления значений переходных коэффициентов при определении морозостойкости/морозосолеустойкости, в зависимости от способа оттаивания образцов, испытано в каждой группе по шесть серий образцов.

Составы бетона выбраны на основании анализа ранее выполненных лабораторных исследований морозостойкости/морозосолеустойкости бетонов (табл. 1).

Опытные образцы изготовлены из тяжелого бетона по ГОСТ 26633-2015 [8] класса по прочности на сжатие В25–В45 с использованием портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н АП производства «Цементный завод «Пролетарий» ОАО «Новоросцемент», песков

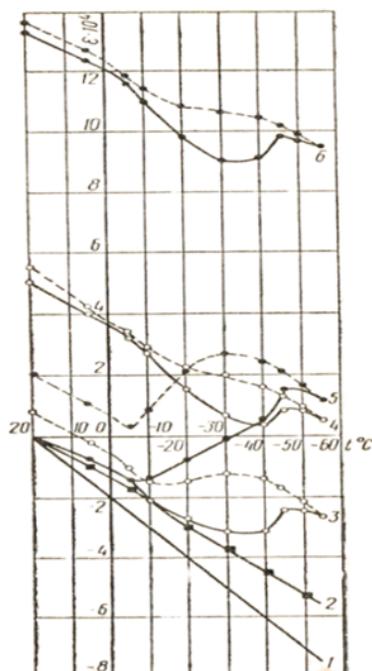


Рис. 2. Деформации пропаренного бетона ($W/C = 0,5$) в зависимости от температуры: 1 – сталь марки Ст3; 2 – бетон с влажностью, установившейся после пропаривания ($W = 3,65\%$); 3 – бетон, насыщенный водой в течение двух суток ($W = 5,3\%$), 1-й цикл; 4 – то же, 10-й цикл; 5 – бетон, насыщенный водой под вакуумом ($W = 6,1\%$), 1-й цикл; 6 – то же, 10-й цикл

Fig. 2. Deformations of steamed concrete ($W/C = 0.5$) depending on temperature: 1 – St3 steel; 2 – concrete with humidity after steaming ($W = 3.65\%$); 3 – concrete saturated with water for two days ($W = 5.3\%$), 1st cycle; 4 – the same, 10th cycle; 5 – concrete saturated with water under vacuum ($W = 6.1\%$), 1st cycle; 6 – the same, 10th cycle

Таблица 1
Table 1

Составы бетона для экспериментальных исследований
Concrete compositions for experimental studies

| № состава | Вид, кол-во добавки, % от Ц | Фактический расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг | | | | Осадка конуса, см | Плотность, кг/м ³ | Объем вовлеченного воздуха, % | В/Ц |
|---|-----------------------------|--|-------|--------|------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|------|
| | | цемент | песок | щебень | вода | | | | |
| Первая группа (марка бетона по морозостойкости F _{1,200} –F _{1,300}) | | | | | | | | | |
| 1 | С-3 – 0,4 | 332 | 798 | 1109 | 176 | 6,0 | 2418 | 4,0 | 0,53 |
| 2 | С-3 – 0,5 | 351 | 796 | 1085 | 176 | 10,0 | 2410 | 4,6 | 0,50 |
| 3 | С-3 – 0,6 | 365 | 785 | 1039 | 178 | 2,5 | 2370 | 3,0 | 0,49 |
| 4 | С-3 – 0,5 | 337 | 764 | 1040 | 159 | 2,7 | 2302 | 4,8 | 0,47 |
| 5 | – | 357 | 743 | 1091 | 170 | 1,2 | 2362 | 2,8 | 0,48 |
| 6 | – | 361 | 751 | 1103 | 170 | 1,8 | 2386 | 4,0 | 0,47 |
| Вторая группа (марка бетона по морозостойкости F _{1,400} –F _{1,500}) | | | | | | | | | |
| 7 | С-3 – 0,6 | 385 | 802 | 1063 | 146 | 2,5 | 2400 | 4,0 | 0,38 |
| 8 | С-3 – 0,7 СНВ – 0,025 | 397 | 624 | 968 | 137 | 11,2 | 2129 | 8,0 | 0,34 |
| 9 | С-3 – 0,7 СНВ – 0,025 | 442 | 697 | 1081 | 162 | 2,0 | 2386 | 4,5 | 0,37 |
| 10 | С-3 – 0,7 | 365 | 758 | 1002 | 145 | 4,2 | 2272 | 4,5 | 0,40 |
| 11 | С-3 – 0,7 СНВ – 0,025 | 435 | 695 | 1061 | 160 | 2,0 | 2356 | 5,2 | 0,37 |
| 12 | СП-1 – 1,0 АЭРО – 0,8 | 437 | 700 | 1067 | 132 | 2,6 | 2340 | 6,9 | 0,30 |

с Мкр = 2,37 карьера «Подгорненский II» (Московская область), Мкр = 2,27 карьера «Воронцовское» (Ленинградская область), щебнях из гравия фракции 5–10 мм месторождения «Владимирское – 3» (Краснодарский край) и фракции 5–20 мм Республики Беларусь (Брестская область). Использовали добавки С-3, СП-1, «Полипласт АЭРО» производства «Полипласт Новомосковск», СНВ производства ООО «Тихвинский химзавод».

Для уточнения режимов испытания бетона на морозостойкость использовали измерительный многоканальный комплекс TDS-530, позволяющий производить измерения температуры с использованием первичных преобразователей – термометров сопротивления ТС-Б.

Термометры сопротивления устанавливали в емкости с раствором (вблизи образцов размерами 100 × 100 × 100 мм), в центре камеры (в воздушной среде), в растворе в ванне для оттаивания образцов. Температуру фиксировали каждые 30 минут.

Результаты подбора режимов испытания в камерах приведены на рис. 3–5.

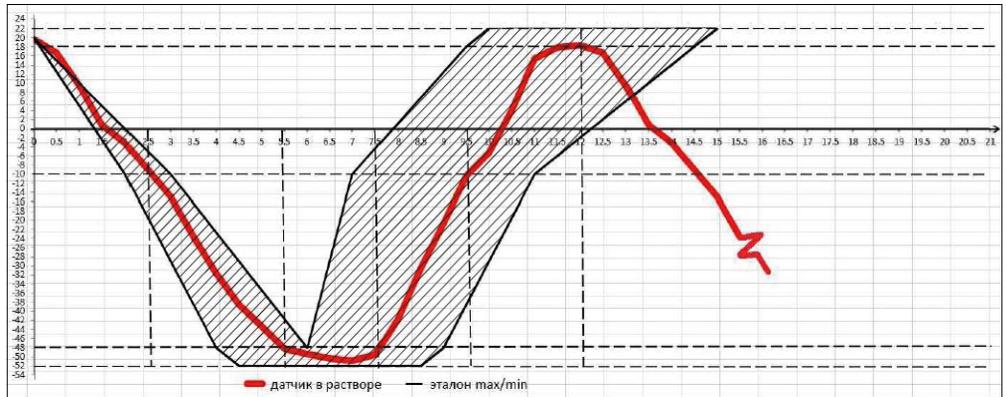
Заштрихованная область на графиках указывает допустимые границы ЦЗО по температуре датчика в растворе в соответствии [3].

Лабораторные исследования морозостойкости/морозосолеустойкости бетона по ускоренному третьему методу ГОСТ 10060-2012 [1] выполнены с контролем

изменений прочности при сжатии и массы бетона. Результаты определения морозостойкости бетона в полуавтоматической камере с оттаиванием образцов по режиму ускоренного третьего метода (при полном погружении емкостей с образцами в ванну для оттаивания с раствором) сравнивали с результатами определения морозостойкости бетона в условиях оттаивания образцов в автоматической камере при неполном погружении образцов в раствор или при оттаивании образцов в автоматической камере с обдувом теплым воздухом.

За критерий оценки степени повреждения бетона в результате ЦЗО принято снижение прочности бетона основных образцов, равное 5 %, по сравнению с прочностью контрольных образцов, не подвергавшихся замораживанию. При значении снижения прочности бетона, равного 5 %, в образцах, оттаивавших в условиях полного погружения в ванне с раствором, определяли прочность образцов, оттаивавших в условиях неполного погружения в раствор или в результате обдува теплым воздухом.

Наибольшее снижение прочности при сжатии бетона в процессе ЦЗО зафиксировано при оттаивании образцов в условиях неполного погружения в раствор. При этом наибольшее снижение отмечено как при испытании образцов 1-й группы с марками по морозостойкости F_{1,200}–F_{1,300} (рис. 6а), так и при испытании образцов 2-й группы с марками по моро-

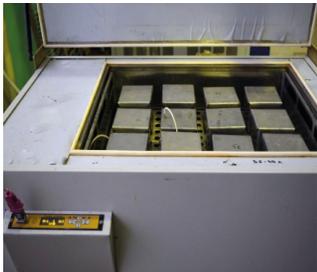
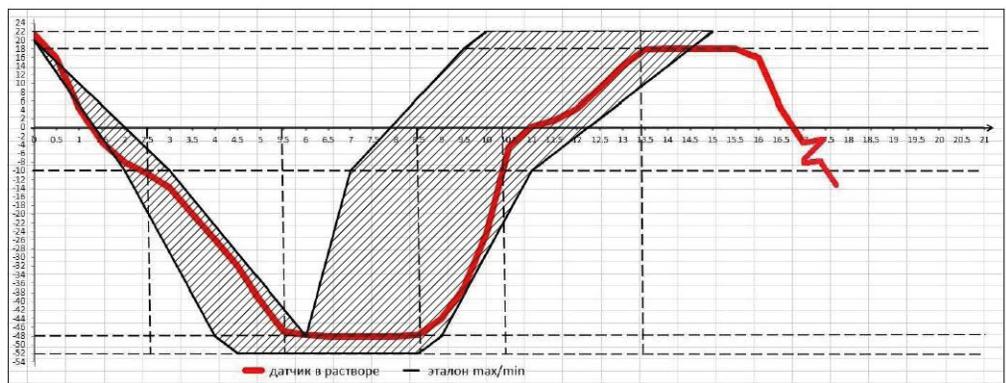


Режим по Изменению № 1к ГОСТ 10060-2012 [3]:
 (2-3) От +20 до -10 °С + (2-3) От -10 до -50 °С + (2-3) Выдержка при -50 °С + (1-2) От -50 до -10 °С + (2,5-3,5) От -10 до +20 °С

Режим по датчику НИИЖБ:
 (2,5) От +20 до -10 °С + (3,0) От -10 до -50 °С + (2,0) Выдержка при -50 °С + (2,0) От -50 до -10 °С + (2,5) От -10 до +20 °С

Рис. 3. Температурный режим ЦЗО. Оттаивание в условиях полного погружения емкостей с образцами в ванну для оттаивания с раствором

Fig. 3. The temperature regime of the freezing-thawing cycles. Thawing under conditions of complete immersion of sample containers in a thawing bath with a solution

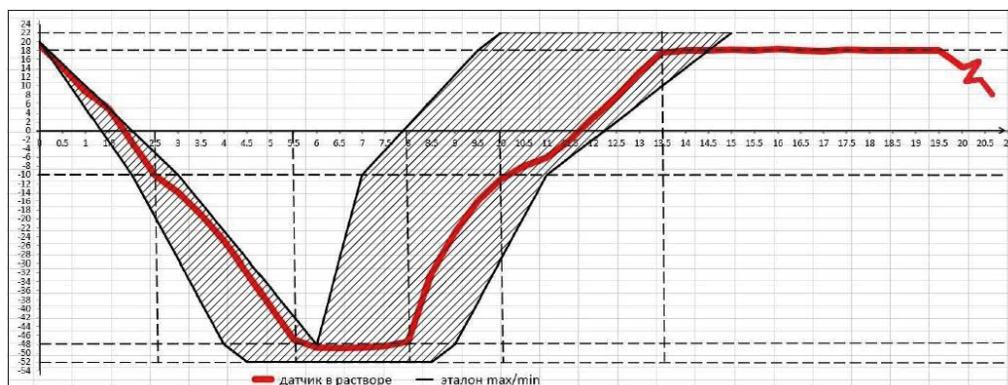


Режим по Изменению № 1к ГОСТ 10060-2012 [3]:
 (2-3) От +20 до -10 °С + (2-3) От -10 до -50 °С + (2-3) Выдержка при -50 °С + (1-2) От -50 до -10 °С + (2,5-3,5) От -10 до +20 °С

Режим по датчику НИИЖБ:
 (2,5) От +20 до -10 °С + (3,0) От -10 до -50 °С + (3,0) Выдержка при -50 °С + (1,3) От -50 до -10 °С + (3,0) От -10 до +20 °С

Рис. 4. Температурный режим ЦЗО. Оттаивание в условиях неполного погружения емкостей с образцами в раствор в автоматической камере

Fig. 4. The temperature regime of the freezing-thawing cycles. Thawing under conditions of incomplete immersion of sample containers in a solution in an automatic chamber

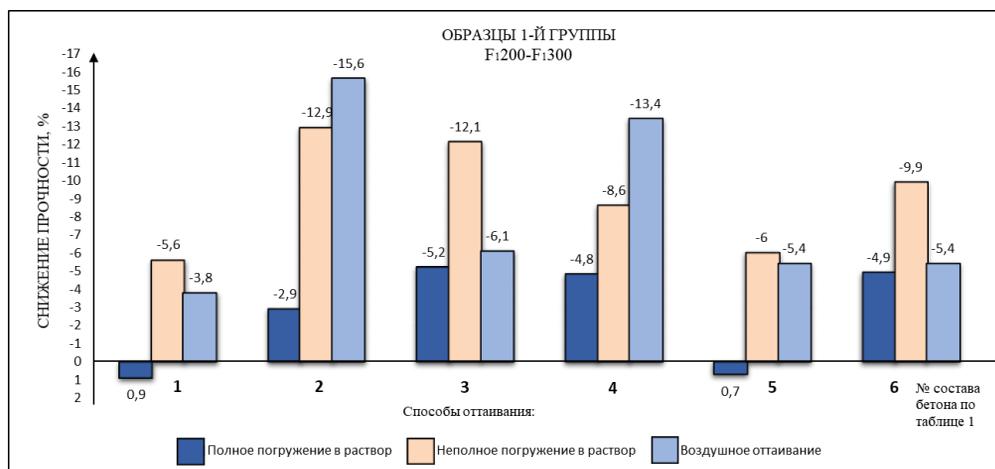


Режим по Изменению № 1к ГОСТ 10060-2012 [3]:
 (2-3) От +20 до -10 °С + (2-3) От -10 до -50 °С + (2-3) Выдержка при -50 °С + (1-2) От -50 до -10 °С + (2,5-3,5) От -10 до +20 °С

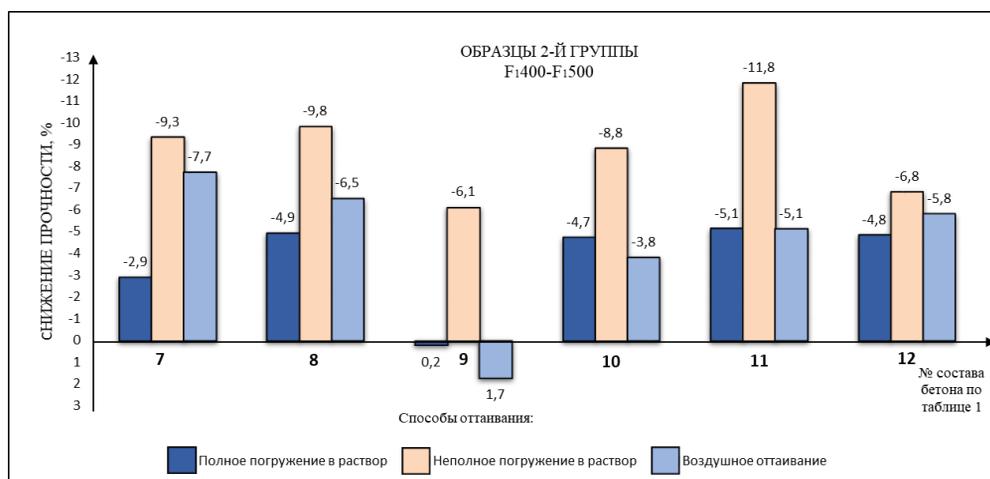
Режим по датчику НИИЖБ:
 (2,5) От +20 до -10 °С + (3,0) От -10 до -50 °С + (2,0) Выдержка при -50 °С + (2,0) От -50 до -10 °С + (3,5) От -10 до +20 °С

Рис. 5. Температурный режим ЦЗО. Оттаивание емкостей с образцами в условиях обдува теплым воздухом в автоматической камере

Fig. 5. The temperature regime of the freezing-thawing cycles. Thawing of sample containers under conditions of warm air blowing in an automatic chamber



а (a)



б (b)

Рис. 6. Показатели снижения прочности бетона, при которых рассчитывали переходные коэффициенты

Fig. 6. Indicators of reduction in concrete strength, at which the transition coefficients were calculated

зостойкости F_{1,400}–F_{1,500} (рис. 6б). При сравнении различных способов оттаивания образцов в процессе ЦЗО установлено, что «жесткость» процесса оттаивания увеличивается в ряду: полное погружение образцов в специальной ванне с раствором < воздушное оттаивание в автоматической камере в результате обдува образцов теплым воздухом < неполное погружение образцов в раствор в автоматической камере.

Образцы как 1-й, так и 2-й групп в процессе циклов замораживания и оттаивания не показали критического значения по потере массы испытуемых образцов, равного 2 %.

Для каждой серии образцов получено значение коэффициента перехода *Ki* от марки бетона по морозостойкости, определенной при оттаивании в условиях неполного погружения емкостей с образцами в раствор и обдува теплым воздухом, к марке бетона, определенной стандартным методом с оттаиванием образцов в специальной ванне с раствором, по формуле:

$$Ki = n_{si}^0 / n_{si} \tag{1}$$

где *n_{si}⁰* – среднее число ЦЗО образцов, при котором достигается критерий оценки по изменению прочности бетона на сжатие при испытании предлагаемым методом;

n_{si} – среднее число ЦЗО образцов, при котором достигается критерий оценки по изменению прочности бетона на сжатие при испытании стандартным методом.

Для бетонов различных марок по морозостойкости получены следующие средние коэффициенты *K* соответственно для F_{1,200}–F_{1,300}/F_{1,400}–F_{1,500}:

– *K* = 0,7/0,6 при оттаивании образцов в автоматической камере при неполном погружении емкостей с образцами в раствор;

– *K* = 0,8/0,9 при оттаивании образцов в автоматической камере в условиях обдува образцов теплым воздухом.

Результаты статистической обработки (табл. 2) показали, что коэффициент вариации экспериментально установленных переходных коэффициентов при неполном погружении емкостей с образцами в раствор равняется 8,4–9,4 %; при обдуве теплым воздухом он равняется 19,1–28,1 % при допуске нормативном значении не более 9 %.

Заключение

Определение морозостойкости бетона ускоренным третьим методом по ГОСТ 10060-2012 с Изменением № 1 [3] с оттаиванием после замораживания емкостей с образцами в ванне с раствором является наиболее оптимальным с точки зрения негативного влияния на морозостойкость бетона. Наиболее «жестким» по сравнению со стандартным способом оттаивания в ванне оказался способ оттаивания образцов при неполном погружении в раствор в автоматической камере. Режим воздушного оттаивания образцов за счет обдува емкостей с образцами теплым воздухом в автоматической камере показал значительный разброс определяемых показателей – прочности, массы. Коэффициент вариации переходных коэффициентов для данного способа оттаивания значительно превышает нормативное значение, равное 9%. По нашему мнению, это связано с конструктивными особенностями автоматической камеры, в которой часть образцов располагается напротив вентилятора, а часть находится в отдалении. Переставлять местами емкости с образцами нецелесообразно, так как теряется смысл использования автоматического режима камеры.

Анализ экспериментальных данных показал различные переходные коэффициенты для каждого вида оттаивания и для каждой марки бетона по морозостойкости, что позволяет считать применение единого переходного коэффициента от марки, определенной при исследуемых режимах оттаивания – неполного погружения емкостей с образцами в раствор и воздушного оттаивания образцов в результате их обдува теплым воздухом – к марке бетона, определенной при

**Таблица 2
Table 2**

**Результаты статистической обработки результатов исследования
The results of statistical processing of the research**

| Показатели обработки | 1-я группа составов бетона (F _{1,200} –F _{1,300}) | | 2-я группа составов бетона (F _{1,400} –F _{1,500}) | |
|---|--|------------------------|--|------------------------|
| | Способ оттаивания в условиях | | | |
| | неполного погружения в раствор | обдува теплым воздухом | неполного погружения в раствор | обдува теплым воздухом |
| Среднеквадратическое отклонение, <i>б_n</i> | 0,07 | 0,15 | 0,0536 | 0,25 |
| Коэффициент вариации, <i>V_к</i> , % | 9,4 | 19,1 | 8,4 | 28,1 |

стандартном методе оттаивания емкостей с образцами в ванне с раствором, **нецелесообразным**.

Для каждой марки бетона по морозостойкости и для исследованного метода оттаивания должен быть рассчитан свой переходный коэффициент. При испытании бетона определенных марок по морозостойкости может быть рассчитан свой переходный коэффициент, что и допускается согласно ГОСТ 10060-2012 [1, п. 4.1].

Учитывая, что в ГОСТ 10060-2012 [1, табл. 4] приведено соотношение между циклами испытаний по ускоренному третьему методу и 19 марками бетона по морозостойкости, разработка стольких переходных коэффициентов приведет к путанице и снижению качества оценки морозостойкости в целом.

На основании результатов выполненной работы подготовлены предложения по уточнению и дополнению ускоренного третьего метода ГОСТ 10060-2012 с Изменением № 1 [3] с целью исключения разночтения при выполнении испытаний.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований, выполненных в НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. В дальнейшем будут опубликованы результаты последующих этапов, включая результаты расчета термонапряженного состояния бетона при определении морозостойкости.

Список литературы

1. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Москва: Стандартинформ, 2014.
2. Степанова В.Ф., Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Паршина И.М., Орехов С.А., Джейранов С.Э. Исследование морозостойкости бетона с целью уточнения методов определения его морозостойкости/морозосолеустойкости // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2020. № 1 (24). С. 108–117.
3. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости (с Изменением № 1). Москва: Стандартинформ, 2018.
4. ГОСТ 10060-62. Бетон тяжелый. Метод определения морозостойкости.
5. Розенталь Н.К., Чехний Г.В. Морозостойкость бетона. Обзор. Москва: АО «НИЦ «Строительство», 2023. 156 с.
6. ГОСТ 10060-87. Бетоны. Методы контроля морозостойкости. Москва: Государственный строительный комитет СССР, 1988.
7. Москвин В.М., Капкин М.М., Мазур Б.М., Подвальный А.М. Стойкость бетона и железобетона при отрицательной температуре. Москва: Стройиздат, 1967. 132 с.
8. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.

References

1. State Standard 10060-2012. Concretes. Methods for determination of frost-resistance. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
2. Stepanova V., Rosental N., Chehny G., Parshina I., Orehov S., Jeyranov S. Study of frost resistance of concrete in order to clarify the methods for determining its frost / frost resistance. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2020, no. 1 (24), pp. 108–117. (In Russian).
3. State Standard 10060-2012. Concretes. Methods for determination of frost-resistance (with Amendment No. 1). Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
4. State Standard 10060-62. Heavy concrete. A method for determining of frost-resistance. (In Russian).
5. Rozental N.K., Chekhny G.V. Frost resistance of concrete. Review. Moscow: JSC Research Center of Construction Publ., 2023, 156 p. (In Russian).
6. State Standard 10060-87. Concretes. Methods of frost resistance control. Moscow: USSR State Construction Committee, 1988. (In Russian).
7. Moskvin V.M., Kapkin M.M., Mazur B.M., Podvalny A.M. Resistance of concrete and reinforced concrete at subzero temperatures. Moscow: Stroyizdat Publ., 1967, 132 p. (In Russian).
8. State Standard 26633-2015. Heavy-weight and sand concretes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Галина Васильевна Чехний[✉], канд. техн. наук, заведующий сектором коррозии бетона лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: chehny@mail.ru
тел.: +7 (499) 174-76-97

Galina V. Chekhny[✉], Cand. Sci. (Engineering), Head of Concrete Corrosion Section, Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: chehny@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-76-97

Андрей Викторович Бучкин, канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: andibuch@inbox.ru
тел.: +7 (499) 174-76-81

Andrey V. Buchkin, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head of the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: andibuch@inbox.ru
tel.: +7 (499) 174-76-81

Николай Константинович Розенталь, д-р техн. наук, профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы», АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: rosental08@mail.ru

Nikolai K. Rozental, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Department of Buildings, Structures, and Materials, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: rosental08@mail.ru

Сергей Александрович Орехов, научный сотрудник сектора коррозии бетона лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: sirius_m16@mail.ru

Sergey A. Orekhov, Researcher of the Concrete Corrosion Section of the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: sirius_m16@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author