

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №1, Том 12 / 2020, No 1, Vol 12 <https://esj.today/issue-1-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/04SAVN120.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Доценко Н.А., Яновская А.В., Коржаева Е.Э., Бондарук А.Д., Магульян И.С., Кукаев А.Х. Влияние некоторых рецептурных факторов на показатели морозостойкости и водонепроницаемости бетонов слитной структуры // Вестник Евразийской науки, 2020 №1, <https://esj.today/PDF/04SAVN120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Dotsenko N.A., Yanovskaya A.V., Korzhaeva E.E., Bondaruk A.D., Magul'yan I.S., Kukaev A.Kh. (2020). Influence of some prescription factors on the indicators of frost resistance and water resistance of concretes of the fused structure. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(12). Available at: <https://esj.today/PDF/04SAVN120.pdf> (in Russian)

**УДК 691**

**ГРНТИ 67.09.33**

**Доценко Наталья Александровна**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Студент  
E-mail: natalya\_1998\_dotsenko@mail.ru

**Яновская Алина Вадимовна**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: kgweny@gmail.com

**Коржаева Екатерина Эдуардовна**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: hett3351@gmail.com

**Бондарук Андрей Дмитриевич**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Студент  
E-mail: andrey\_bondaruk99@mail.ru

**Магульян Иван Сергеевич**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: magulyan19@gmail.com

**Кукаев Анзор Хамидович**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: kukaevanzor@mail.ru

**Влияние некоторых рецептурных факторов  
на показатели морозостойкости и водонепроницаемости  
бетонов слитной структуры**

**Аннотация.** В эксплуатационных условиях бетонные и железобетонные конструкции и различные элементы инженерных сооружений, как правило, находятся под действием механических нагрузок: сжимающих, растягивающих или изгибающих. Бетон конструкций подвергается также воздействию чередующихся изменений температуры и влажности, замораживанию и оттаиванию. Таким образом, бетон в реальных условиях службы практически постоянно находится в напряженном состоянии под влиянием эксплуатационных нагрузок, а также тех или иных воздействий внешней среды. В связи с этим весьма важным является прогнозирование поведения бетона в таких условиях. В настоящее время при выборе состава и оценке основных параметров бетона испытания, например, на морозостойкость, проводятся на кубиках путем замораживания и оттаивания в ненагруженном состоянии. Поправки на напряженное состояние бетона в реальных конструкциях учитываются, как правило, определенными коэффициентами с учетом климатических условий и особенностей эксплуатации конкретной конструкции. При циклических воздействиях внешней среды в бетоне возникают напряжения и деформации, уровень которых в общем случае зависит от суммарной величины внешних и внутренних сил. Поэтому в зависимости от знака прилагаемой нагрузки предварительное нагружение может затормозить или, наоборот, ускорить процесс разрушения бетона. В лаборатории Донского государственного технического университета исследовалось влияние рецептурно-технологических факторов на морозостойкость и водонепроницаемость бетона слитной структуры. Применение добавки-суперпластификатора и воздухововлекающей добавки существенно повышает морозостойкость и водонепроницаемость бетона слитной структуры, а подбор их оптимальной дозировки ведет к наилучшим результатам. Морозостойкость и водонепроницаемость бетонов после применения оптимальных дозировок исследуемых добавок повышались в 4–5 раз.

**Вклад авторов.**

Доценко Наталья Александровна – автор одобрил окончательную версию статьи перед ее подачей на публикацию.

Яновская Алина Вадимовна – автор осуществил написание статьи.

Коржаева Екатерина Эдуардовна – автор осуществил написание статьи.

Бондарук Андрей Дмитриевич – автор собрал, проанализировал и интерпретировал материал для статьи.

Магульян Иван Сергеевич – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Кукаев Анзор Хамидович – автор оказывал участие при оформлении статьи.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции; бетон слитной структуры; циклические воздействия; морозостойкость бетона; водонепроницаемость бетона; добавки в бетон

Многочисленные опыты показывают, что на характер кривой деформирования, а, следовательно, и кинетику накопления необратимых деформаций большое влияние оказывает временной фактор, то есть скорость роста напряжений или деформаций. При циклических воздействиях внешней среды, в частности при попеременном замораживании – оттаивании или увлажнении – высушивании, возможны случаи резкого охлаждения или нагревания (тепловой удар) и резкого увлажнения или высушивания (влажностный удар).

В реальных условиях службы более распространенным вариантом таких воздействий является медленное и длительное высыхание или оттаивание, вследствие которого происходит усадка или сжатие материала с появлением соответствующих напряжений и деформаций. При

медленном и длительном увлажнении или замораживании происходит набухание или увеличение внешнего объема вследствие распорного давления замерзающей воды в порах материала с появлением соответствующих напряжений и деформаций [1].

Внешние признаки разрушения в одном и другом случае различны. При быстром увлажнении и замораживании материал разрушается путем образования трещин. При медленном насыщении и замораживании разрушение начинается с выкрашивания выступающих частей (углов), отслаиванием поверхностных слоев материала с постепенным распространением такого процесса вглубь материала, а также другие особенности, подробно описанные Г.И. Горчаковым [2].

Таким образом, влияние временного фактора на процесс деформирования разрушения бетона заслуживает определенного внимания.

Усталость при кратковременных циклах. К этому виду относятся: повторные механические, динамические, ударные нагрузки, резкие изменения влажности и температуры. Длительность циклов таких воздействий обычно не превышает долей секунды. В общем случае, разрушение материала, как правило, происходит в результате образования одной или нескольких сквозных трещин. При кратковременном термическом или влажностном чередующемся воздействии (тепловой или влажностный «удар») разрушение также проявляется путем образования локальных трещин, как и при действии кратковременных механических нагрузок.

Основываясь на представлениях об аналогии процессов разрушения при статическом сжатии и повторных циклах «нагружение-разгрузка» механизм разрушения бетона можно представить в следующем виде.

В первом полупериоде при упругом деформировании происходит накопление потенциальной энергии в материале. В этот момент основную роль в противодействии внешней силы играют упругие свойства бетона – упругость. Если максимальный уровень напряжений не превышает уровня первой параметрической точки (или предела выносливости), то обратная ветвь упругой деформации будет располагаться строго по линии «напряжение-деформация» и вернется в первоначальное положение без образования остаточной деформации и тогда материал может сопротивляться таким нагрузкам достаточно долго.

Для бетона, в котором из-за усадочных деформаций в его структуре возникают внутренние напряжения, в процессе начальных циклов «нагружений-разгрузки» может происходить перераспределение напряжений, а в ряде случаев и уменьшение внешнего объема. Это может привести к некоторому повышению прочности материала. Такой период обычно называют конструктивным.

Увеличение деформации усадки приводит к некоторому снижению прочности бетона, создаются условия для ускорения процесса роста остаточной деформации после очередного цикла «нагружение-разгрузка» и, как следствие, ускорению процесса разрушения.

Усталость при медленном приложении нагрузки. При медленном нагружении образцов вид диаграммы сжатия бетона определяется скоростью роста напряжений, то есть зависит от времени действия нагрузки.

Механизм разрушения цементного камня и бетона при осевом сжатии в условиях медленного приложения нагрузки, как и при быстром нагружении, наступает в тот момент, когда предельная растяжимость кристаллического сростка цементного камня в направлении, нормальном к действию внешней силы (в поперечном направлении), достигает своего предельного значения. Однако вследствие деформации ползучести происходит перераспределение внутренних усилий в цементном камне за время приложения нагрузки. При

этом разрушающее напряжение, а, следовательно, и призмная прочность, в сравнении с мгновенным нагружением уменьшается тем в большей мере, чем больше время нагружения.

Перераспределение внутренних усилий в цементном камне, как уже отмечалось, происходит вследствие развития деформаций ползучести. В связи с этим такое перераспределение связано с процессами, которые обычно протекают при развитии деформации ползучести. Механизм такого процесса или, точнее, имеющиеся гипотезы, которые описаны ранее, позволяют представить его в следующем виде.

Перераспределение внутренних усилий с геля гидросиликатов кальция (тоберморитового геля) на кристаллический сросток протекает во времени и обусловлено постепенным «разрушением» несущих коагуляционных контактов между кристалликами гидросиликата кальция, образующимися на начальном этапе формирования структуры цементного камня.

Таким образом, принципиальное отличие усталости при кратковременных и длительных циклах наряду с отличием внешних признаков разрушения заключается также и в том, что при одних и тех же условиях нагружения (величине нагрузки) разрушение материала при длительных циклах происходит через меньшее количество циклов.

В эксплуатационных условиях бетонные и железобетонные конструкции и различные элементы инженерных сооружений, как правило, находятся под действием механических нагрузок: сжимающих, растягивающих или изгибающих. Наряду с этим в строительной практике получили широкое распространение предварительно напряженные железобетонные конструкции, в которых бетон, главным образом в зоне анкеровки, подвергается распорному давлению арматуры. Это вызывает появление растягивающих напряжений в бетоне около арматурной зоны, уровень которых зависит от условий армирования, уровня предварительного напряжения и других причин. Бетон конструкций подвергается также воздействию чередующихся изменений температуры и влажности, замораживанию и оттаиванию. Таким образом, бетон в реальных условиях службы практически постоянно находится в напряженном состоянии под влиянием эксплуатационных нагрузок, а также тех или иных воздействий внешней среды.

В связи с этим весьма важным является прогнозирование поведения бетона в таких условиях. В настоящее время при выборе состава и оценке основных параметров бетона испытания, например, на морозостойкость, проводятся на кубиках путем замораживания и оттаивания в ненагруженном состоянии. Поправки на напряженное состояние бетона в реальных конструкциях учитываются, как правило, определенными коэффициентами с учетом климатических условий и особенностей эксплуатации конкретной конструкции.

При циклических воздействиях внешней среды в бетоне возникают напряжения и деформации, уровень которых в общем случае зависит от суммарной величины внешних и внутренних сил. Поэтому в зависимости от знака прилагаемой нагрузки предварительное нагружение может затормозить или, наоборот, ускорить процесс разрушения бетона. Предварительное обжатие (до определенного предела) способствует смыканию или сближению имеющихся микро- и макротрещин, что приводит к уменьшению пористости, а также образованию вторичных адгезионно-когезионных связей и, следовательно, повышению плотности и прочности структуры. Внешний объем образца в этом случае может уменьшаться.

Анализ процесса деформации бетона при циклических воздействиях показывает, что в первом полцикле его структура при деформировании в упругой области накапливает потенциальную энергию упругой деформации. При переходе в область пластических деформаций расходует ее на образование различных дефектов на межфазные или внутрифазные сдвиги без нарушения сплошности, то есть видимых признаков разрушения.

Во втором полцикле (при снятии нагрузки) восстановление исходного объема происходит за счет остаточной энергии, уровень которой зависит от упругих свойств материала, то есть способности его накапливать потенциальную энергию упругой деформации, а также от уровня напряжений и направления действия внутренних и внешних сил.

При предварительном обжатии, когда направление этих сил совпадает, остаточное изменение формы уменьшается, так как энергетический уровень системы становится выше.

При предварительном нагружении, когда направления внутренних и внешних сил не совпадают (при действии растягивающих или изгибающих нагрузок), остаточный энергетический уровень уменьшается.

Таким образом, стойкость бетона к усталостным воздействиям при предварительном нагружении зависит от способности структуры сохранять энергетический уровень материала на начало второго (или последующего) цикла.

При предварительном обжатии энергетический уровень более высокий. Накопление остаточных деформаций происходит медленнее, так как внешние силы способствуют возвращению системы в состояние на начало цикла. При предварительном растяжении энергетический уровень напряженного материала уменьшается, так как внешние силы препятствуют возвращению системы в исходное состояние, то есть на начало первого полцикла. Следовательно, накопление остаточного изменения формы и разрушение материала в этом случае будут происходить быстрее.

В настоящее время известно достаточно большое количество публикаций о влиянии напряженного состояния на стойкость к циклическим воздействиям. Наибольшее количество работ относится к изучению в напряженном состоянии морозостойкости бетона [3; 4].

По мере повышения сжимающих напряжений морозостойкость повышается, достигая максимального значения, а затем постепенно уменьшается. Опыты показывают, что характер кривых, описывающих изменение коэффициента поперечной деформации, полностью совпадает с характером кривых морозостойкости бетона в зависимости от относительной нагрузки его обжатия, то есть отмечается достаточно близкое совпадение уровней предварительного нагружения, в пределах которых уменьшается объем образца и повышается его морозостойкость.

Аналогичные результаты получены А.М. Осадченко [5], который провел специальные исследования на тяжелых и легких бетонах.

Как и в опытах Г.А. Ткаченко [6], при превышении уровня предварительного нагружения морозостойкость бетона уменьшается тем в большей мере, чем ниже морозостойкость ненагруженного бетона.

Нами в лаборатории Донского государственного технического университета исследовалось влияние рецептурно-технологических факторов на морозостойкость и водонепроницаемость бетона слитной структуры [7–12]. При этом контрольный состав был без добавки. В итоге из пяти дозировок добавки С-3 была выбрана оптимальная:

расход цемента  $\rho = 375 \text{ кг/м}^3$ ;

количество добавки С-3 – 0,5 % от массы цемента.

Результаты испытаний приведены в таблице 1 и на рисунках 1–2.

Таблица 1

**Результаты испытаний бетона  
с добавкой-суперпластификатором на морозостойкость и водонепроницаемость**

| Цемент, кг | В/Ц  | П/Щ  | Добавка, % С-3 | Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $R_{сж}$ , МПа | $F$ , количество циклов | Водонепроницаемость, МПа |
|------------|------|------|----------------|--------------------------------------|----------------|-------------------------|--------------------------|
| 345        | 0,49 | 0,64 | 0              | 2375                                 | 35,2           | 75                      | 0,2                      |
| 444        | 0,23 | 0,59 | 0,35           | 2435                                 | 36,3           | 250                     | 0,6                      |
| 345        | 0,39 | 0,76 | 0,5            | 2455                                 | 42,8           | 200                     | 0,4                      |
| 305        | 0,47 | 0,74 | 0,6            | 2490                                 | 32,3           | 200                     | 0,4                      |
| 375        | 0,37 | 0,74 | 0,5            | 2540                                 | 55,1           | 300                     | 0,8                      |
| 420        | 0,32 | 0,77 | 0,5            | 2400                                 | 58,5           | 250                     | 0,6                      |
| 444        | 0,26 | 0,46 | 0,45           | 2448                                 | 40,5           | 250                     | 0,6                      |

Составлено авторами

Далее исследовалось влияние воздухововлекающей добавки СНВ на морозостойкость и водонепроницаемость бетона слитной структуры [13–15]. При этом контрольный состав был без добавки. В итоге из трех дозировок добавки С-3 была выбрана оптимальная:

расход цемента Ц = 444 кг/м<sup>3</sup>;

количество добавки СНВ – 0,15 % от массы цемента.

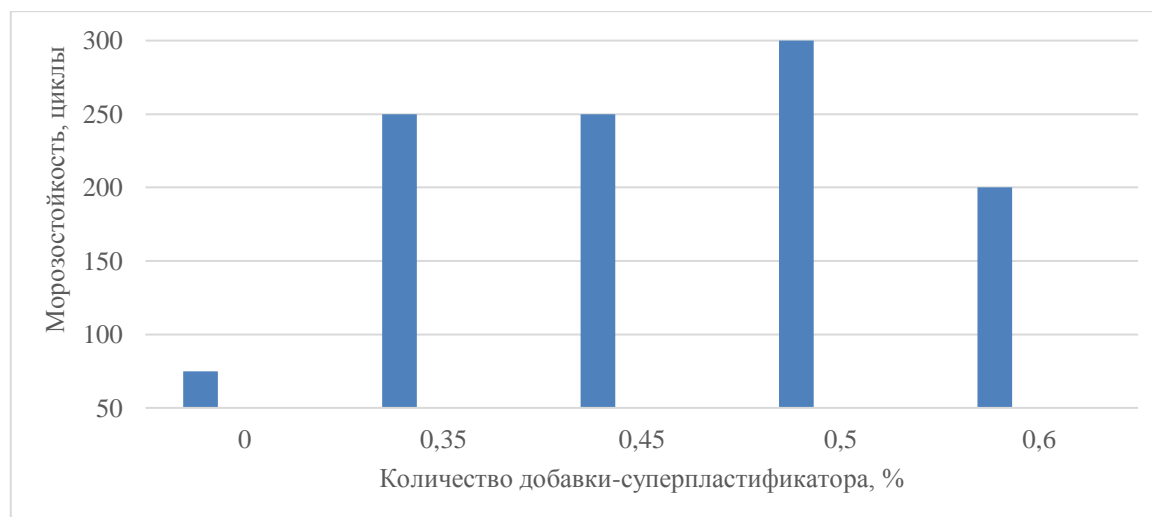
Результаты испытаний приведены в таблице 2 и на рисунках 3–4.

Таблица 2

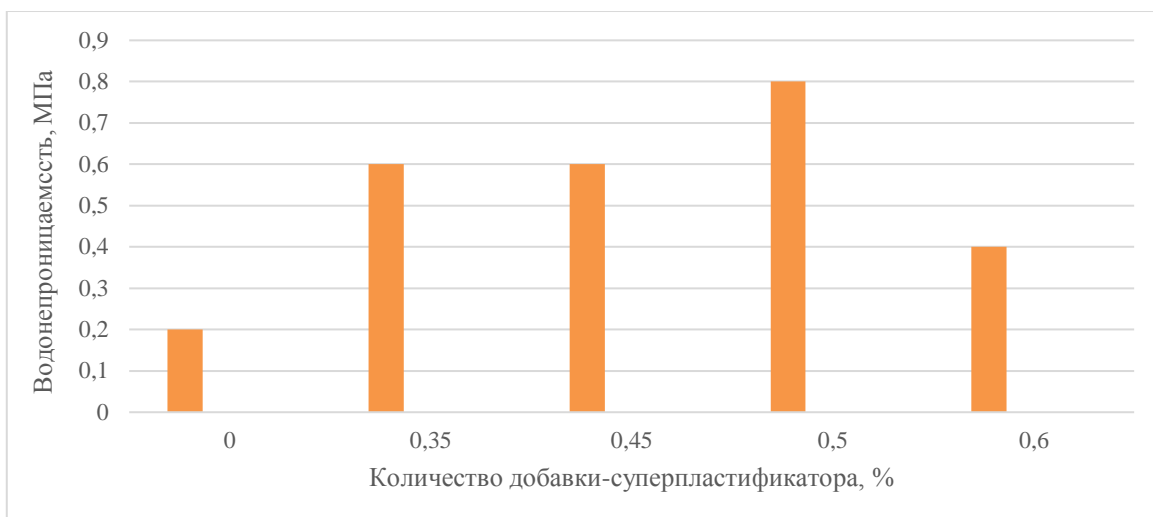
**Результаты испытаний бетона  
с воздухововлекающей добавкой на морозостойкость и водонепроницаемость**

| Цемент, кг | В/Ц  | П/Щ  | Добавка, % С-3 | Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $R_{сж}$ , МПа | $F$ , количество циклов | Водонепроницаемость, МПа |
|------------|------|------|----------------|--------------------------------------|----------------|-------------------------|--------------------------|
| 360        | 0,47 | 0,63 | 0              | 2475                                 | 30,2           | 75                      | 0,2                      |
| 378        | 0,32 | 0,49 | 0,27           | 2403                                 | 40,1           | 200                     | 0,4                      |
| 412        | 0,13 | 0,61 | 0,13           | 2387                                 | 40,4           | 150                     | 0,4                      |
| 420        | 0,24 | 0,58 | 0,20           | 2379                                 | 33,5           | 150                     | 0,4                      |
| 444        | 0,23 | 0,46 | 0,16           | 2570                                 | 35,1           | 250                     | 0,6                      |
| 444        | 0,25 | 0,59 | 0,15           | 2448                                 | 45,9           | 300                     | 0,8                      |
| 486        | 0,23 | 0,46 | 0,27           | 2463                                 | 38,7           | 200                     | 0,4                      |
| 486        | 0,23 | 0,46 | 0,20           | 2515                                 | 38,2           | 200                     | 0,4                      |

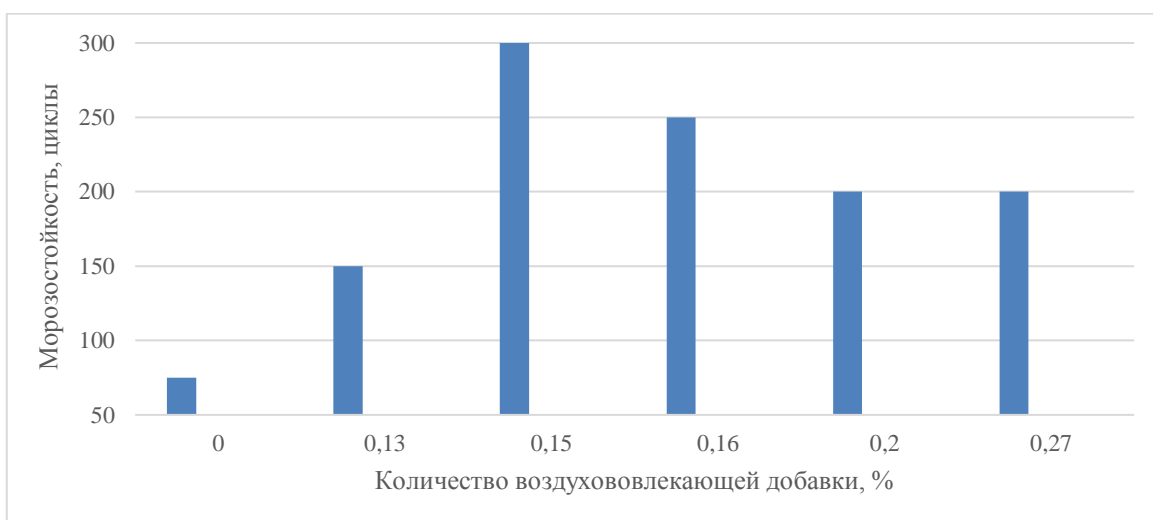
Составлено авторами



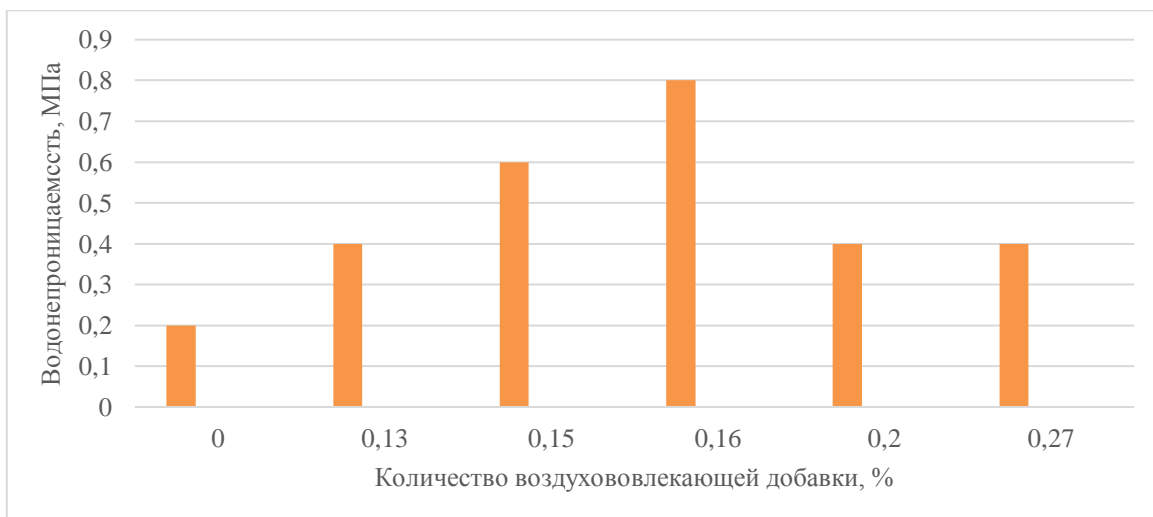
**Рисунок 1. Зависимость морозостойкости бетона от количества добавки-суперпластификатора (составлено авторами)**



**Рисунок 2.** Зависимость водонепроницаемости бетона от количества добавки-суперпластификатора (составлено авторами)



**Рисунок 3.** Зависимость морозостойкости бетона от количества воздухововлекающей добавки (составлено авторами)



**Рисунок 4.** Зависимость водонепроницаемости бетона от количества воздухововлекающей добавки (составлено авторами)

Применение добавки-суперпластификатора и воздухововлекающей добавки существенно повышает морозостойкость и водонепроницаемость бетона слитной структуры, а подбор их оптимальной дозировки ведет к наилучшим результатам. Морозостойкость и водонепроницаемость бетонов после применения оптимальных дозировок исследуемых добавок повышались в 4–5 раз.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Невский В.А. Усталость и деформативность бетона: Монография. М.: Вузовская книга, 2012.
2. Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. М., 1966.
3. Москвин А.М., Подвальный А.М. Морозостойкость бетона в напряженном состоянии // Бетон и железобетон. М., 1960. №2.
4. Москвин В.М., Капкин М.М., Савицкий А.Н., Ярмаковский В.Н. Бетон для строительства в суровых климатических условиях. Л., 1973.
5. Осадченко А.М. Стойкость и деформативность замораживаемого нагруженного бетона: дис. ... канд. техн. наук. НИИЖБ. М., 1988.
6. Ткаченко Г.А. Исследование причин преждевременного разрушения сборных железобетонных лотков и путей повышения их долговечности: дис. ... канд. техн. наук. Ростов н/Д: РИСИ, 1971.
7. Высоцкий С.А. Минеральные добавки для бетонов // Бетон и железобетон. 1994. № 2. С. 7–10.
8. Краснов А.М. Высоконаполненный мелкозернистый песчаный бетон повышенной прочности // Строительные материалы. 2003. № 1. С. 36–37.
9. Matsufuji Y., Kohhata H., Harada S. Прочностные характеристики растворов, содержащих сверхтонкие частицы // Semento konkurito ronbunshu. CAJ Proc. Cem. and Concr. 1991. № 45. С. 264–269.
10. Зоткин А.Г. Микронаполняющий эффект минеральных добавок в бетоне // Бетон и железобетон. 1994. №3. С. 7–9.
11. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов // Бетон и железобетон. 1995. № 6. С. 16–20.
12. Красный И.М. О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителей // Бетон и железобетон. 1987. № 5. С. 10–11.
13. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Коробкин А.П., Налимова А.В., Серебряная И.А., Нажуев М.П. Разработка состава композиционного портландцемента на основе золошлаковой смеси Новочеркасской ГРЭС // Вестник СевКавГТИ. 2017. № 3 (30). С. 148–153.
14. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Нажуев М.П., Чернильник А.А. Улучшение экологической обстановки в Ростовской области путем применения промышленных отходов в строительной индустрии / Экология России: на пути к инновациям. Межвузовский сб. науч. трудов. Астраханский гос. ун-т. Астрахань, 2019. С. 57–60.
15. Шуйский А.И., Халюшев А.К., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Оптимизация составов вяжущих композиций на основе доменного шлака и суперпластификатора, активированных щелочью // Научное обозрение. 2016. № 16. С. 22–28.



**Dotsenko Natal'ya Aleksandrovna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: natalya\_1998\_dotsenko@mail.ru

**Yanovskaya Alina Vadimovna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: kgweny@gmail.com

**Korzhaeva Ekaterina Eduardovna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: hett3351@gmail.com

**Bondaruk Andrei Dmitrievich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: andrey\_bondaruk99@mail.ru

**Magul'yan Ivan Sergeevich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: magulyan19@gmail.com

**Kukaev Anzor Khamidovich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: kukaevanzor@mail.ru

## **Influence of some prescription factors on the indicators of frost resistance and water resistance of concretes of the fused structure**

**Abstract.** In operational conditions, concrete and reinforced concrete structures and various elements of engineering structures, as a rule, are under the influence of mechanical loads: compressing, stretching or bending. Concrete structures are also exposed to alternating changes in temperature and humidity, freezing and thawing. Thus, concrete in real service conditions is almost constantly under stress under the influence of operational loads, as well as various environmental influences. In this regard, it is very important to predict the behavior of concrete in such conditions. Currently, when selecting the composition and evaluating the main parameters of concrete, tests, for example, for frost resistance are carried out on cubes by freezing and thawing in an unloaded state. Corrections for the stress state of concrete in real structures are taken into account, as a rule, by certain coefficients, taking into account the climatic conditions and features of the operation of a particular structure. When cyclical effects of the external environment in the concrete there are stresses and strains, the level of which in General depends on the total value of external and internal forces. Therefore, depending on the sign of the applied load, pre-loading can slow down or, conversely, accelerate the process of destruction of concrete. In the laboratory of the don state technical University, the influence of compounding and technological factors on the frost resistance and water resistance of the concrete of the fused structure was studied. The use of a superplasticizer additive and an air-entrapping additive significantly increases the frost resistance and water resistance of the concrete of the fused structure, and the selection of their optimal dosage leads to the best results. Frost resistance and water resistance of concrete after applying the optimal dosages of the studied additives increased by 4–5 times.

**Keywords:** reinforced concrete structures; concretes of fused structure; cyclic effects; frost resistance of concrete; water resistance of concrete; additives in concrete