

## Сравнение показателей морозостойкости тяжелых бетонов класса В35, полученных вибрированием и центрифугированием

*Е.М. Щербань, С.А. Стельмах, А.А. Чернильник,*

*Д.Ю. Кучеренко, В.А. Федорченко, А.В. Яновская*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Методом центрифугирования возможно изготавливать широкую номенклатуру строительных конструкций и изделий из железобетона. Такая продукция обладает рядом преимуществ, являясь актуальной в современном строительстве, однако, требует тщательного соблюдения и контроля качества технологического процесса. Морозостойкость бетона – один из основных показателей, характеризующих долговечность таких строительных конструкций как железобетонные стойки опор ЛЭП и контактной сети. Проведены анализ литературы и серия экспериментальных исследований в лабораторных условиях. Выявлено и определено влияние технологии изготовления изделий из тяжелого бетона на показатель их морозостойкости.

**Ключевые слова:** стойки опор ЛЭП, стойки опор контактной сети, центрифугирование, вибрирование, морозостойкость, неоднородность бетона, вариативность.

Методом центрифугирования возможно изготавливать широкую номенклатуру строительных конструкций и изделий из железобетона. Такая продукция обладает рядом преимуществ, являясь актуальной в современном строительстве, однако, требует тщательного соблюдения и контроля качества технологического процесса.

В свою очередь, морозостойкость бетона – один из основных показателей, характеризующих долговечность таких строительных конструкций как железобетонные стойки опор ЛЭП и контактной сети.

Особый научный интерес вызывает показатель морозостойкости бетона и изделий и конструкций из него, полученных методом центрифугирования. Такой показатель изучался в следующих аспектах:

- морозостойкость изделия как замкнутого кольцевого сечения, подвергнутого предварительному сжатию;
- морозостойкость центрифугированного бетона опор.

Это обусловлено тем, что бетон, получаемый центрифугированием, имеет высокую плотность, так как во время центрифугирования снижается

его пористость. Кроме этого, центрифугированный бетон весьма неоднороден по толщине стенки, то есть имеет вариатропное строение структуры, то есть несколько слоев, с различающейся плотностью между собой.

Заводы, производящие железобетонные стойки опор, проводили специальные обследования, выявившие, что бетону таких конструкций присуще резкое расслоение на наружную (бетонную) и внутреннюю (растворную) составляющие, в особенности в комле конструкций.

Из-за того, что при центрифугировании внутренняя (растворная) составляющая перераспределяется, толщина этого слоя в нижней части стойки составляет около половины всей толщины [1].

Исследования [2-4], направленные на выявление влияния многократного замораживания и оттаивания на изделия замкнутого сечения, продемонстрировали необходимость неукоснительного соблюдения технологии изготовления, нарушение которой приводит к усилению процесса расслоения бетонных смесей, и снижению морозостойкости. Тем самым, в результате, могут возникать продольные трещины при попеременных циклах замораживания-оттаивания.

Во время эксплуатации различные слои такого бетона имеют различный характер влажностного состояния. Отмечено [2-3], что в наружном слое содержится в несколько раз меньше влаги, чем во внутреннем. Таким образом, во время замораживания слои бетона подвергаются деформациям, различным между собой.

Итогом этого процесса является появление растягивающих напряжений в наружных слоях и сжимающих напряжений во внутренних слоях.

Когда деформации достигают определенной разности, растягивающие напряжения, возникающие во внешнем слое, превышают прочность бетона на разрыв, что и ведет к продольному трещинообразованию.

---

В соответствии с [2-4], где обосновывается необходимая морозостойкость бетона в опорах, нормирование этого показателя имеет вид:

$$M_{\text{рз}} = \frac{N_{\text{ст}}}{K_{\text{мрз}}}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{ст}}$  – условия среды, определяемые числом стандартных циклов замораживания и оттаивания в год;

$K_{\text{мрз}}$  – коэффициент однородности бетона по морозостойкости в зависимости от надежности.

Совместное рассмотрение отмеченных выше концепций [2-4] и обобщение их с точки зрения современных представлений о циклических процессах замораживания-оттаивания бетона позволило прогнозировать минимальный ресурс по морозостойкости бетона в виде:

$$N_{\text{рз}} \geq \frac{n_{\text{ст}} * T_{\text{сл}}^{\text{н}}}{K_{\text{мрз}}} = \frac{n_{\text{ст}} * \Pi(K_i) * T_{\text{сл}}^{\text{н}}}{K_{\text{мрз}}} \quad (2)$$

или, переходя к оценке времени исчерпания ресурса опор по морозостойкости бетона:

$$T_{\text{мрз}} = \frac{M_{\text{рз}}^{\text{н}} * K_{\text{мрз}}}{n_{\text{ст}} * \Pi(K_i)} \quad (3)$$

где  $M_{\text{рз}}^{\text{н}}$  – нормируемая морозостойкость бетона для опор контактной сети;

$T_{\text{сл}}^{\text{н}}$  – нормируемый срок службы опор в годах;

$T_{\text{мрз}}$  – срок исчерпания ресурса опор по морозостойкости бетона в годах;

$K_{\text{мрз}}$  – коэффициент однородности бетона по морозостойкости, назначаемый в зависимости от уровня надежности;

$n_{\text{ст}}$  – среднее число стандартных циклов замораживания-оттаивания бетона, реализуемое в год в рассматриваемых природных условиях [5-6].

В соответствии с существующими подходами к отождествлению стандартных циклов замораживания-оттаивания бетона через природные циклы применима формула:

$$n_{ст} = n_{пр} * П(K_i) \quad (4)$$

где  $n_{пр}$  – среднее число природных циклов замораживания-оттаивания бетона в год;

$П(K_i)$  – система коэффициентов, учитывающих эквивалентность перехода от природных циклов замораживания-оттаивания бетона к стандартным в зависимости от температурных условий реализации природных циклов и атмосферной влажности бетона [6].

Для конструкций, у которых циклы замораживания и оттаивания обусловлены колебаниями температуры воздуха  $t_b$ , а также солнечной радиацией  $\Delta t_p$ , условия срока службы определяются на основании анализа графиков изменения температуры поверхности бетона, учитывающих замораживание бетона ночью и оттаивание его под влиянием солнечной радиации даже при отрицательных температурах воздуха. При  $t_b < \Delta t_p$  в сутки реализуется один природный цикл замораживания-оттаивания. Тогда число расчетных природных циклов попеременного замораживания-оттаивания определится как разность между количеством дней с переходом температуры через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и количеством пасмурных дней, в течение которых солнечная радиация не проявляется [6].

В научно-исследовательской лаборатории кафедры ТВВБиСК ДГТУ была проведена серия экспериментальных исследований, целью которых являлось выявление и определение степени влияния технологии изготовления изделий из тяжелого бетона на показатель их морозостойкости [7, 8].

Исследованию подлежало сравнение технологий вибрирования и центрифугирования [9-11].

---

Для достоверного установления исследуемого влияния исходные компоненты бетонной смеси, а также условия проведения экспериментов принимались одинаковыми для образцов, изготавливаемых по обоим видам технологий [12, 13].

За основу разработанной экспериментальной методики принята методика ГОСТ 10060-2012. Отличием экспериментальной методики от стандартной являлся размер исследованных образцов. Форма исследуемых образцов принята кубической, размер ребра был принят равным 5 см.

Морозостойкость образцов-кубов 5х5 см, полученных методом вибрирования, составила 4 цикла (F150).

Морозостойкость же образцов-кубов 5х5 см, выпиленных из образца кольцевого сечения, полученного методом центрифугирования оказалась выше, чем у вибрированного – 5 циклов (F200).

Таким образом, в результате анализа литературных источников, а также по полученным экспериментальным данным, были сделаны следующие выводы.

Во-первых, литературными данными подтверждена существенная значимость показателя морозостойкости центрифугированного бетона для обеспечения долговечности железобетонных изделий и конструкций, таких как стойки опор ЛЭП и контактной сети.

Во-вторых, во многих источниках отмечено, что необходимо неукоснительное строгое соблюдение всех заданных параметров производственного процесса центрифугирования, так как, ввиду сложности технологии и формирования неоднородной структуры, любое отклонение от данного процесса может привести к существенному снижению качества, и в том числе показателя морозостойкости таких изделий и конструкций.

В-третьих, полученные авторами экспериментальные данные указывают на влияние технологии изготовления на показатель

---

морозостойкости бетона, на примере класса по прочности при сжатии В35, а именно, превосходство центрифугирования над вибрированием.

В-четвертых, полученные результаты свидетельствуют об актуальности дальнейших исследований в данном направлении, а именно, проведении серии экспериментов для выявления и сравнения влияния различных факторов на показатели морозостойкости вибрированных и центрифугированных бетонов.

### Литература

1. Ли В.Н. Совершенствование методов и средств неразрушающего контроля элементов контактной сети и токоприемников электроподвижного состава электрифицированных железных дорог : дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07. Хабаровск, 2008. 313 с.

2. Актуганов И.З. Влияние климатических воздействий на долговечность железобетонных конструкций. Критерии суровости климата // Научные проблемы сооружения БАМ ж. д. магистрали. Новосибирск, 1976. С. 57-69.

3. Гладков В.С., Иванов Ф.М. Однородность бетона по морозостойкости // Исследование деформаций, прочности и долговечности бетона транспортных сооружений. М.: Стройиздат, 1969. С. 124-130.

4. Кунцевич О.В. Применение бетонов повышенной прочности и долговечности в железнодорожном строительстве. Л.: Транспорт, 1983. 109 с.

5. Гладков В.С., Иванов Ф.М. Оценка суровости климатических условий при назначении морозостойкости бетона // Исследование деформаций, прочности и долговечности бетона транспортных сооружений. М.: Стройиздат, 1969. С. 131-138.

6. Рекомендации по определению числа расчетных циклов попеременного замораживания и оттаивания бетона для конструкций

гидротехнических сооружений мелиоративных систем Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во ДальНИИГМ, 1976. 30 с.

7. Романенко Е.Ю. Высокопрочные бетоны с минеральными пористыми и волокнистыми добавками для изготовления длинномерных центрифугированных конструкций : дис.... канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1989. 179 с.

8. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона // Наукоедение, 2017, №4 URL: [naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf).

9. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Холодняк М.Г., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Совершенствование режимов формования центрифугированных бетонных изделий кольцеобразного сечения // Инженерный вестник Дона, 2018, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4832](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4832).

10. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П. Совершенствование расчетных рекомендаций по подбору состава бетона центрифугированных конструкций // Вестник Евразийской науки, 2018, №3 URL: [esj.today/PDF/63SAVN318.pdf](http://esj.today/PDF/63SAVN318.pdf).

11. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Рекомендации по учету вариатропии при расчете, проектировании и изготовлении центрифугированных конструкций из тяжелого бетона // Вестник Евразийской науки, 2018, №4 URL: [esj.today/PDF/07SAVN418.pdf](http://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf).

12. Pooya Alae, Bing Li. High-strength concrete exterior beam-column joints with high-yield strength steel reinforcements // Engineering Structures. 2017. Vol. 145. pp. 305-321.



13. Mohamed K. Ismail, Assem A.A. Hassan. An experimental study on flexural behaviour of large-scale concrete beams incorporating crumb rubber and steel fibres. 2017. Vol. 145. pp. 97-108.

### References

1. Lee V.N. Sovershenstvovanie metodov i sredstv nerazrushayushchego kontrolya ehlementov kontaktnoy seti i tokopriemnikov elektropodvizhnogo sostava elektrificirovannyh zheleznyh dorog [Improvement of methods and means of non-destructive control of elements of the contact network and current collectors of electric rolling stock of electrified railways] diss. ... dokt. tech. nauk: 05.22.07. Khabarovsk, 2008. 313 p.

2. Aktuganov I.Z. Nauchnye problemy sooruzheniya BAM zh. d. magistrali [Scientific problems of the BAM construction railway line]. Novosibirsk, 1976, pp. 57-69.

3. Gladkov V.S., Ivanov F.M. Issledovanie deformatsiy, prochnosti i dolgovechnosti betona transportnyh sooruzheniy [Study of deformations, strength and durability of concrete transport structures]. Moscow: Stroyizdat, 1969. pp. 124-130.

4. Kuntsevich O.V. Primenenie betonov povyshennoy prochnosti i dolgovechnosti v zheleznodorozhnom stroitel'stve [The use of concrete of increased strength and durability in railway construction]. L.: Transport, 1983. 109 p.

5. Gladkov B.C. Ivanov F.M. Issledovanie deformatsiy, prochnosti i dolgovechnosti betona transportnyh sooruzheniy [Study of deformations, strength and durability of concrete transport structures]. M.: Stroyizdat, 1969. pp. 131-138.

6. Rekomendatsii po opredeleniyu chisla raschetnyh tsiklov poperemennogo zamorazhivaniya i ottaivaniya betona dlya konstruktsiy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy meliorativnykh sistem Dal'nego Vostoka [Recommendations for

determining the number of design cycles for alternate freezing and thawing of concrete for the structures of hydraulic structures of land-reclamation systems of the Far East]. Vladivostok: Izd-vo Dal'NIIGM, 1976. 30 p.

7. Romanenko E.Yu. Vysokoprochnye betony s mineral'nymi poristymi i voloknistymi dobavkami dlya izgotovleniya dlinnomernyh centrifugirovannykh konstrukciy [High-strength concretes with mineral porous and fibrous additives for the manufacture of long-length centrifuged structures]: dis.... kand. tehn. nauk: 05.23.05. Rostov-on-Don, 1989. 179 p.

8. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M. Naukovedenie, 2017, №4 URL: [naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf).

9. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Khalyushev A.K., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M., Nazhnev M.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4832](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4832).

10. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P. The Eurasian Scientific Journal, 2018, №3 URL: [esj.today/PDF/63SAVN318.pdf](http://esj.today/PDF/63SAVN318.pdf).

11. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Nazhnev M.P. The Eurasian Scientific Journal, 2018, №4 URL: [esj.today/PDF/07SAVN418.pdf](http://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf).

12. Pooya Alae, Bing Li. High-strength concrete exterior beam-column joints with high-yield strength steel reinforcements. Engineering Structures. 2017. Vol. 145. pp. 305-321.

13. Mohamed K. Ismail, Assem A.A. Hassan. An experimental study on flexural behaviour of large-scale concrete beams incorporating crumb rubber and steel fibres. 2017. Vol. 145. pp. 97-108.