

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ТВЕРДЕНИЕ БЕТОНОВ С МАГНЕЗИАЛЬНЫМ ОКСИХЛОРИДНЫМ ЦЕМЕНТОМ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

**А.В. Киянец**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

Особенности производства строительно-монтажных работ при отрицательных температурах окружающего воздуха предполагают применение специальных технологий. В особенности это касается бетонных работ, требующих применения методов интенсификации твердения бетона монолитных конструкций. Использование бетонов на основе магнезиального вяжущего позволяет существенно снизить стоимость и продолжительность работ, так как для его затворения используются водные растворы хлористого магния, являющиеся электролитами с пониженной температурой замерзания. В статье приведены основные теоретические выкладки по формированию структуры строительных композитов при их твердении в условиях отрицательных температур. Раскрыты факторы влияния на процессы структурообразования и твердения магнезиального бетона. Приведена методика проведения эксперимента. Описаны полученные результаты. Дано объяснение характеру набора прочности магнезиального бетона, выдержанного первые 7 суток твердения в диапазоне температур от  $-10$  до  $-20$  °С. Получена математическая зависимость прочности магнезиального раствора от плотности применяемого водного раствора хлористого магния при расходе вяжущего от 50 до 25 % от массы заполнителя в исследуемом диапазоне температур выдерживания.

Проведенные исследования доказывают, что магнезиальный бетон, затворенный водным раствором хлористого магния плотностью  $1,15...1,25$  г/см<sup>3</sup>, набирает прочность при температурах выдерживания от  $-10$  до  $-20$  °С, отрицательная температура выдерживания уменьшает скорость твердения на 18...62 % от R28.

*Ключевые слова:* магнезиальное вяжущее, магнезиальный оксихлоридный цемент, зимнее бетонирование, интенсификация набора прочности, магнезиальный бетон.

При изучении поведения замерзающего бетона, как правило, рассматриваются два момента. Это сопротивление бетона замерзанию и его морозостойкость. Под первым понимается способность еще не полностью затвердевшего материала переносить воздействия отрицательных температур как постоянных, так и переменных. Под вторым – способность насыщенного водой и набравшего проектную прочность такого же материала противостоять воздействию попеременного замораживания и оттаивания в течение ряда лет – без разрушений [1, 2].

Как известно, магнезиальный бетон содержит в своем составе электролиты, которые значительно могут изменять их свойства [3, 4]. В частности, из-за растворения солей в воде образуются сольваты, представляющие соединения частиц растворенного вещества (в нашем случае ионов магния) и молекул воды. Это существенно снижает температуру замерзания водного раствора, так как для превращения водного раствора электролита в лед затрачивается энергия на замедление движения молекул воды и на разрушение данных соединений [5–7]. Этим объясняется пониженная температура замерзания раствора с добавками при отрицательных температурах внешней окружающей среды.

Наибольшее влияние на процесс замерзания водного раствора электролита оказывает его концентрация или плотность [8, 9].

Для определения влияния электролитов на процессы твердения растворов на магнезиальном вяжущем был проведен ряд экспериментов, в частности были определены параметры твердения материала в диапазоне температур от 20 до  $-10$  °С [10–12]. Таким образом, возникла необходимость в дальнейшем исследовании характера твердения магнезиального бетона при отрицательных температурах. Экспериментальный диапазон температур был определен в пределах от  $-10$  до  $-20$  °С.

Технические характеристики вяжущего MgO соответствовали марке каустического магнезита ПМК-87 по ГОСТ 1216-87. В качестве затворителя применяли водный раствор хлористого магния (бишофит по ГОСТ Р 55067-2012). Заполнителем был песок (ГОСТ 8736-93) с истинной плотностью  $2,69$  г/см<sup>3</sup>.

Экспериментальные исследования проводились по стандартным методикам [13–15]. Были изготовлены образцы – кубы  $100 \times 100 \times 100$  мм, которые помещались в холодильную камеру при температурах  $-10$ ,  $-15$ ,  $-20$  °С и выдерживались при от-

рицательных температурах первые 7 суток твердения. В дальнейшем до 28 суток образцы набирали прочность в камере нормального хранения.

При исследовании влияния отрицательных температур на процесс набора прочности магниальным бетоном были получены следующие результаты (рис. 1).

Как и предполагалось, скорость набора прочности магниального бетона в исследуемом диапазоне температур снижается по сравнению с образцами, которые выдерживали при положительных температурах, на 18...62 %.

Через 24 часа твердения в холодильной камере на процесс набора прочности влияет только цементно-песчаное отношение (количество вяжущего в составе смеси). Через 72 часа твердения заметно оказывает влияние на прочность темпера-

тура выдерживания, особенно это видно на примере составов при плотностях бишофита 1,15...1,20 г/см<sup>3</sup> с содержанием магниального вяжущего от 25 до 33 %.

При плотности затворителя 1,25 г/см<sup>3</sup> при общем снижении темпов твердения прочность в большей степени зависит только от количества введенного вяжущего. Увеличение плотности затворителя приводит к увеличению конечной прочности образцов (рис. 2, 3).

По результатам получена математическая зависимость прочности магниального бетона:

$$R^7 = -74,969\rho^2 + 213,03\rho - 138,1,$$

где  $R^7$  – прочность магниального бетона на через семь суток твердения при температурах от -10 до -20 °С, МПа;  $\rho$  – плотность водного раствора хлористого магния, г/см<sup>3</sup>.

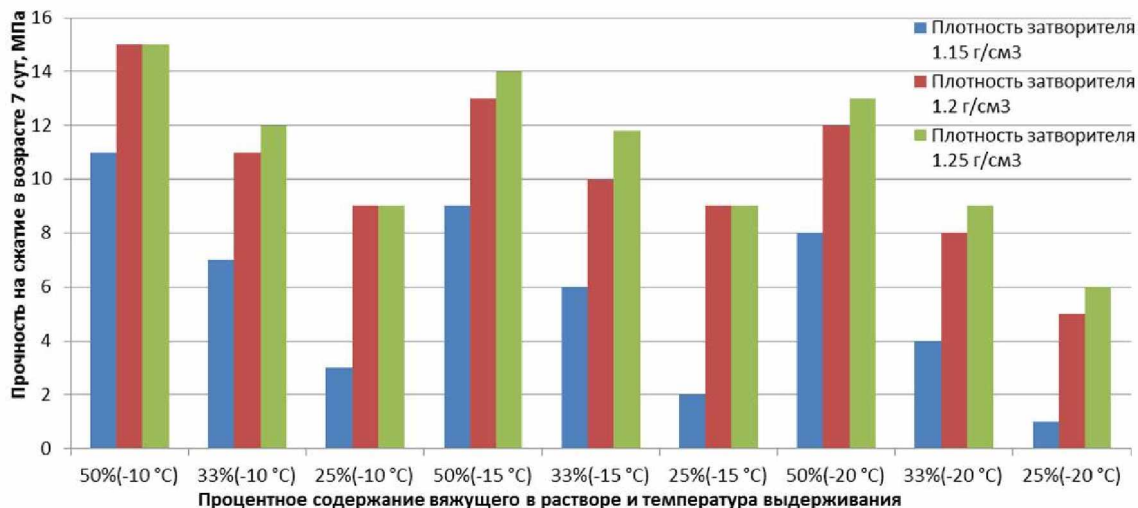


Рис. 1. Прочность на сжатие образцов магниального бетона в зависимости от процентного содержания вяжущего в материале и температуры выдерживания

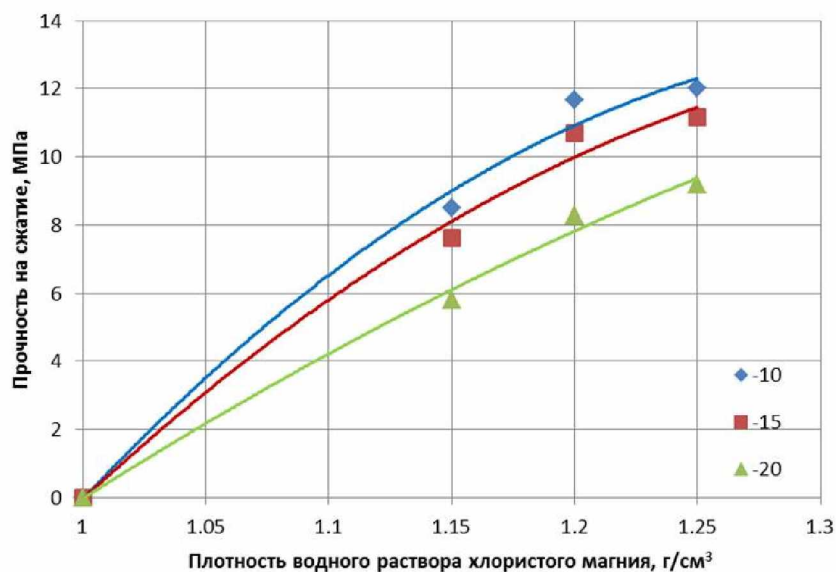


Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие магниального бетона от плотности затворителя при различных температурах выдерживания

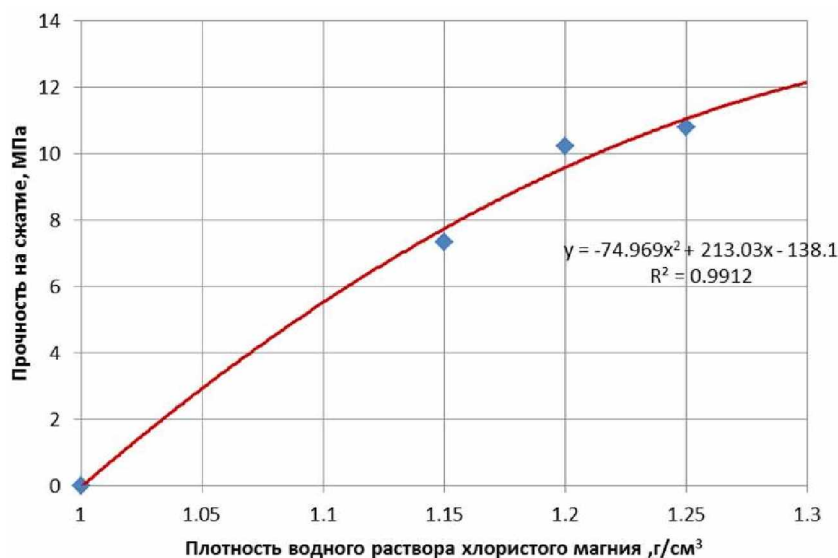


Рис. 3. Математическая зависимость прочности на сжатие магнезиального бетона от плотности затворителя при температурах выдерживания от  $-10$  до  $-20$  °С

Наибольшей конечной прочности достигли образцы, выдержанные при температуре  $-10$  °С, для состава с 50 % магнезиального вяжущего, затворенные раствором бишофита средней плотности ( $1,20$  г/см<sup>3</sup>). Наименьшей прочности – затворенные раствором бишофита высокой плотности ( $1,25$  г/см<sup>3</sup>) и в интервале температур от  $-10$  до  $-15$  °С для состава с 25–30 % магнезиального вяжущего.

Таким образом, повышение плотности затворителя, который является электролитом, приводит к ускорению процессов твердения магнезиального бетона при его выдерживании в условиях отрицательных температур только при достаточном содержании каустического магнезита, способного с ним прореагировать. Излишнее количество электролита в «тощих» составах приводит к уменьшению скорости твердения и конечной прочности материала, выдержанного в дальнейшем при положительных температурах. Это связано с миграцией влаги и несвязанного каустическим магнезитом затворителя внутри образцов и образованием линз, способствующих нарушению структуры твердеющего раствора и общему сбросу прочности.

В результате длительного времени твердения на начальном этапе в материале присутствует жидкая фаза затворителя, не прореагировавшего с вяжущим. При протекании процессов гидратации и схватывания магнезиального вяжущего выделяется значительная доля энергии в виде теплоты. В результате в образце образуется неравномерное температурное поле, характеризующееся более высокими температурами в центральных областях и более низкими на периферии.

Такой перепад температур способствует миграции жидкой фазы не вступившего в реакцию с вяжущим затворителя из центра образца в более

охлажденные периферийные области. Эти же процессы наблюдали ранее и другие исследователи при изучении технологии зимнего бетонирования.

Такое неравномерное распределение затворителя в образце приводит к нехватке бишофита в центре и избытку его возле граней. Следствием этого в уже затвердевшем материале является наличие непрореагировавшего магнезиального вяжущего в центральной области образца и наличие прослоек кристаллов хлористого магния на гранях и прилегающих к ним зонах. Это приводит к нарушению структуры материала и является одной из главных причин сброса прочности.

### Заключение

Получена математическая зависимость прочности магнезиального раствора от плотности применяемого водного раствора хлористого магния при расходе вяжущего от 50 до 25 % от массы заполнителя в исследуемом диапазоне температур выдерживания.

Проведенные исследования доказывают, что магнезиальный бетон, затворенный водным раствором хлористого магния плотностью  $1,15 \dots 1,25$  г/см<sup>3</sup>, набирает прочность при температурах выдерживания от  $-10$  до  $-20$  °С, отрицательная температура выдерживания уменьшает скорость твердения снижается на 18...62 %.

### Литература

1. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
2. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 500 с.
3. Головнев, С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор

методов / С.Г. Головнев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. – 156 с.

4. Современные строительные технологии: моногр. / под ред. С.Г. Головнева. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 268 с.

5. Заседателев, И.Б. Тепло- и массоперенос в бетоне специальных промышленных сооружений / И.Б. Заседателев, В.Г. Петров-Денисов. – М.: Стройиздат, 1973. – 168 с.

6. Красновский, Б.М. Инженерно-физические основы методов зимнего бетонирования / Б.М. Красновский. – М.: Изд-во ГАСИС, 2007. – 512 с.

7. Киреенко, И.А. Бетонные, каменные и штукатурные работы на морозе / И.А. Киреенко. – Киев: Госстройиздат УССР, 1962. – 272 с.

8. Миронов, С.А. Теория и методы зимнего бетонирования / С.А. Миронов. – Изд. 3-е перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.

9. Brzhanov, R.T. Methods of increasing the initial strength of winter concrete / R.T. Brzhanov, G.A.Pikus, M. Traykova // IOP Conference Series:

*Materials Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 451. – № 012083.

10. Головнев, С.Г. Высокоэффективные строительные технологии и материалы на основе магниального вяжущего / С.Г. Головнев, А.В. Киянец, К.В. Дьяков // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. – 2009. – № 3. – С. 86–87.

11. Головнев, С.Г. Магниальные бетоны и растворы в современном строительстве / С.Г. Головнев, А.В. Киянец, К.В. Дьяков // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. – 2009. – № 1. – С. 72–73.

12. Kiyaneets, A.V. The Negative Temperature Impact on Hardening of Magnesia Composites/ A.V. Kiyaneets // *Materials Science Forum Trans Tech Publications*. – 2016. – Vol. 843. – P. 91–95.

13. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87.

14. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

15. ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.

**Киянец Александр Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), kiyaneets2007@mail.ru

Поступила в редакцию 15 марта 2019 г.

DOI: 10.14529/build190304

## INFLUENCE OF ELECTROLYTES ON HARDENING OF CONCRETE WITH OXYCHLORIDE MAGNESIA CEMENT AT LOW TEMPERATURES

**A.V. Kiyaneets**, kiyaneets2007@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The specifics of performing construction and assembly works at negative ambient temperatures requires the use of special technologies. This is especially true of concrete works requiring the use of methods for intensifying the hardening of concrete in monolithic structures. The use of concrete based on magnesia binder can significantly reduce the cost and duration of work, because aqueous solutions of magnesium chloride are used for its mixing, which are electrolytes with a low freezing point. The article presents the main theoretical calculations on the formation of the structure of building composites during their hardening under negative temperatures. The factors of influence on the processes of structure formation and hardening of magnesian concrete are revealed. The technique of the experiment is given. The results obtained are described. An explanation is given to the nature of the curing of magnesian concrete aged for the first 7 days of hardening in the temperature range from  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A mathematical dependence of the strength of the magnesian solution on the density of the used aqueous solution of magnesium chloride with a consumption of binder from 50 to 25 % by weight of aggregate in the test temperature range under study is obtained.

Studies have shown that magnesian concrete shut with an aqueous solution of magnesium chloride with a density of  $1.15 \dots 1.25\text{ g/cm}^3$  gains strength at holding temperatures from  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and negative holding temperature decreases the hardening rate by 18 ... 62 % from R28.

*Keywords: magnesia binder, magnesia oxychloride cement, winter concreting, strength enhancement, magnesian concrete.*

### References

1. Akhverdov I.N. *Osnovy fiziki betona* [Fundamentals of Concrete Physics]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1981. 464 p.
2. Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona* [Concrete Technology]. Moscow, Association of construction universities Publ., 2002. 500p.
3. Golovnev S.G. *Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov* [Technology of Winter Concreting. Optimization of Parameters and Choice of Methods]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 1999. 156 p.
4. Golovnev S.G. (Ed.) *Sovremennyye stroitel'nyye tekhnologii: monografiya* [Modern Construction Technologies: Monograph]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ., 2010. 268 p.
5. Zasedatelev I.B., Petrov-Denisov V.G. *Teplo- i massoperenos v betone spetsial'nykh promyshlennykh sooruzheniy* [Heat and Mass Transfer in Concrete of Special Industrial Facilities]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1973. 168p.
6. Krasnovskiy B.M. *Inzhenerno-fizicheskiye osnovy metodov zimnego betonirovaniya* [Engineering and Physical Fundamentals of Winter Concreting]. Moscow, GASIS, 2007. 512 p.
7. Kireyenko I.A. *Betonnyye, kamennyye i shtukатурnyye raboty na moroze* [Concrete, Stone and Plaster Works in the Cold]. Kiev, Gosstrojizdat USSR Publ., 1962. 272p.
8. Mironov S.A. *Teoriya i metody zimnego betonirovaniya* [Theory and Methods of Winter Concreting]. Moscow, StrojizdatPubl., 1975. 700 p.
9. Brzhanov R.T. Pikus G.A., Traykova M. [Methods of Increasing the Initial Strength of Winter Concrete]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 451, no. 012083. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012083.
10. Golovnev S.G., Kiyanev A.V., D'yakov K.V. [Highly Efficient Building Technologies and Materials Based on Magnesium Binder]. *Akademicheskii vestnik UralNIIproyekt RAASN* [Academic Bulletin of UralNIIproyekt RAACS]. Ekaterinburg, UralNIIproyekt URO RAASN Publ., 2009, no. 3, pp. 86–87. (in Russ.).
11. Golovnev S.G., Kiyanev A.V., D'yakov K.V. [Magnesia Concrete and Mortars in Modern Construction]. *Akademicheskii vestnik UralNIIproyekt RAASN* [Academic Bulletin of UralNIIproyekt RAACS]. Ekaterinburg, 2009, no. 1, pp. 72–73. (in Russ.).
12. Kiyanev A.V. [The Negative Temperature Impact on Hardening of Magnesia Composites]. *Materials Science Forum Trans Tech Publications*, 2016, vol. 843, pp. 91–95. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.843.91.
13. *SP 70.13330.2012. Nesushchiye i ogradhdayushchiye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.03.01-87*. [Bearing and Protecting Designs]. Moscow, Gosstroy Publ., 2012.
14. *GOST 10180-12. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nyim obraztsam* [Concretes. Methods for Strength Determination Using Reference Specimens]. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 35 p.
15. *GOST 18105-2010. Betony. Pravila kontrolya i otsenki prochnosti* [Concretes. Rules for Control and Assessment of Strength]. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 15 p.

*Received 15 March 2019*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Киянец, А.В. Влияние электролитов на твердение бетонов с магниезальным оксихлоридным цементом при отрицательных температурах / А.В. Киянец // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 24–28. DOI: 10.14529/build190304

### FOR CITATION

Kiyanev A.V. Influence of Electrolytes on Hardening of Concrete with Oxychloride Magnesia Cement at Low Temperatures. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2019, vol. 19, no. 3, pp. 24–28. (in Russ.). DOI: 10.14529/build190304