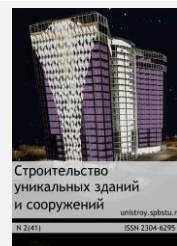




Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Кинетика набора прочности бетона при раннем замораживании

Н.А. Кудайбергенова¹, Л.И. Чумадова², Н.И. Ватин³, И.Г. Бакирова⁴, А.А. Браташов⁵, А.В. Кабанов⁶

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Информация о статье

УДК 961.542

История

Подана в редакцию 20 апреля 2015

Ключевые слова

бетон;
прочность;
замораживание;
кинетика;
твердение;
водоцементное отношение

АННОТАЦИЯ

В статье проведено исследование влияния раннего замораживания на кинетику набора прочности бетона, что очень важно, ведь в настоящее время строительный процесс в зимнее время является сложной задачей, стоящей перед специалистами в этой сфере. Из-за циклических процессов замораживания-оттаивания, а также вследствие низких температур, скорость твердения и качество бетонного камня снижается, что создает определенную угрозу для строящегося объекта. Для исследования данного процесса сделано несколько серий бетонных образцов, отличающихся водоцементным отношением (далее В/Ц) и условиями твердения. Контрольные образцы твердели в стандартных нормальных условиях, а основная партия подверглась раннему замораживанию. Затем до испытания она хранилась вместе с образцами контрольной партии. То же было проделано с образцами с другим водоцементным отношением. Испытания проводились на сжатие в возрасте 7, 14 и 28 дней. Результаты работы представлены в виде таблиц и графиков, при анализе которых можно сделать определенные выводы, согласно которым бетоны из основной партии теряют небольшую часть прочности, но имеют тенденцию к последующему её набору до выравнивания с контрольной партией.

Содержание

1.	Введение	8
2.	Краткий обзор отечественной и зарубежной литературы	8
3.	Постановка цели и задач	8
4.	Описание проведенных исследований	8
5.	Характеристика материалов	9
6.	Результаты испытаний бетона	9
7.	Заключение	12

Контактный автор:

- +7(911)0964006, kunail_919@inbox.ru (Кудайбергенова Наиля Абдирасимовна, студент)
- +7(921)7609300, chumadova.2011@mail.ru (Чумадова Людмила Ивановна, к.т.н., доцент)
- +7(921)9643762, vatin@mail.ru (Ватин Николай Иванович, д.т.н., профессор)
- +79811405127, lady-di.92@mail.ru (Бакирова Индира Гарифовна, студент)
- +7(981)8451950, aleks.kuskus@mail.ru (Браташов Алексей Александрович, студент)
- +7(921)4046707, alexis_kabanov@list.ru (Кабанов Алексей Васильевич, студент)

1. Введение

Географическое расположение России в северной части континента и отрицательные температуры, наблюдаемые зимой даже в южных районах страны, определяют внимание к воздействию замораживания на свойства материалов. В настоящее время бетон и железобетон являются основными строительными материалами. Наряду с тем, что строительный процесс продолжается ежечасно, возникает вопрос производства работ в условиях низких температур, поэтому тема производства бетонных работ в суровых климатических условиях на сегодняшний день является актуальной. Прекращение работ также приносит значительные убытки народному хозяйству.

В ходе исследований было доказана полная техническая возможность производства таких работ и зимой, однако стоит проводить комплекс специальных мероприятий, обеспечивающие производство строительных работ в этот период года.

2. Краткий обзор отечественной и зарубежной литературы

Влиянию замораживания на структуру бетона и скорость нарастания прочности посвящено много работ отечественных и зарубежных исследователей [4, 6, 10-13, 15, 17-22, 24, 26, 28-32, 36, 37].

Особенно стоит отметить работы НИИЖБа (Научно-исследовательский институт бетона и железобетона) и, в частности, работы С.А. Миронова [7]. Этими работами было установлено, что после оттаивания и при твердении в условиях отрицательных температур образуются те же продукты гидратации, что и при нормальном твердении, но в более дисперсном состоянии. Разработаны методы зимнего бетонирования, определен критический возраст (7 дней, а лучше 10 дней), в котором можно снимать укрытие, обеспечивающее бетону твердение при нормальных условиях. При твердении в нормальных условиях первые 7-10 дней бетон набирает достаточную прочность, чтобы противостоять действию отрицательных температур с приемлемой потерей прочности в 28 суточном сроке.

Сравнительные графики и таблицы по прочности бетона, подверженного замораживанию были представлены в работах В.Н. Сизова, К.М. Мозголёва, С.Г. Головнёва, О.С. Ивановой, Метина Хусем (Metin Husem), Сергата Гозуток (Serhat Gozutok), Рональда Барг (Ronald G.Burg). Благодаря этим данным видно, что прочность замороженных образцов при сжатии в 7 дневном возрасте были ниже, чем у образцов стандартного (нормального) твердения, а в конце 28 дня прочность замороженного бетона была выше, чем у стандартных образцов [9, 14, 16, 23, 25, 27]. В последние годы появились свидетельства о том, что, если заморозить свежеприготовленный бетон, то это не вызовет снижения прочности после его оттаивания и твердения в нормальных условиях.

3. Постановка цели и задач

Исследование предполагает прояснить влияние замораживания только что уложенной в форму бетонной смеси на кинетику прочности данного материала.

Задачи исследования включают изготовление партии контрольных образцов бетонной смеси, твердеющей в нормальных условиях, и партии основных образцов, набирающих прочность после 2 суток заморозки [8]. Затем проведение испытания на сжатие в 28-ми дневном возрасте для этих серий. Последняя задача – сравнение результатов испытаний и их обработка для выявления особенностей и закономерностей изменения свойств замороженных бетонных образцов.

4. Описание проведенных исследований

Для испытания были приготовлены две бетонные смеси с разными В/Ц и постоянными параметрами: расход цемента (далее Ц) и доля песка в смеси заполнителей (далее г) [2]. Из каждой бетонной смеси приготовлено по 18 кубов (рисунок 1) размером 100x100x100мм, затем 9 образцов выдержаны в нормальных условиях при температуре $t=20^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха $W=95\%$. Другие 9 кубов заморожены при температуре минус 20°C в течение 2 суток сразу после изготовления образцов. Впоследствии (через 2 суток замораживания) они были помещены в камеру нормального твердения.

Кубы были испытаны на сжатие в 7, 14 и 28 дневном возрасте.



Рис.1 Образцы в камере нормального твердения

5. Характеристика материалов

Для бетонной смеси были использованы следующие материалы: портландцемент М300, крупный песок (модуль крупности = 2,8), щебень (фракции 5-10, 10-20, 20-40). Состав смеси рассчитан и представлен в таблице 1.

Таблица 1. Состав бетонной смеси

№ состава	Параметры состава бетона			Масса материалов, кг				ОК, см
	В/Ц	Ц, кг/м ³	г	Песок	Цемент	Щебень	Вода	
1	0,55	300	0,40	7,74	3	11,61	1,65	6
2	0,65	300	0,40	7,62	3	11,43	1,95	8

6. Результаты испытаний бетона

Испытания выполнены на гидравлическом прессе (рисунок 2). По результатам получаем класс бетона В20 для первого и второго состава.

Влияние раннего замораживания бетона на дальнейший набор прочности при твердении в нормальных условиях представлено в таблицах и графиках ниже (рисунки 3 – 8).



Рисунок 2. Гидравлический пресс для испытаний на сжатие

Таблица 5. Результаты испытания бетона. Состав 1 (В/Ц=0,55)

Возраст бетона, суток	Условия твердения	Средняя прочность бетона, МПа
7	Нормальные	20,3
7+2*	Оттаявшие	20,45
14	Нормальные	30,15
14+2*	Оттаявшие	26,05
28	Нормальные	31,4
28+2*	Оттаявшие	29,25

Прим.*Сразу после изготовления эти образцы замораживались при температуре минус 20°С в течение 2 суток, затем были помещены в камеру нормального твердения

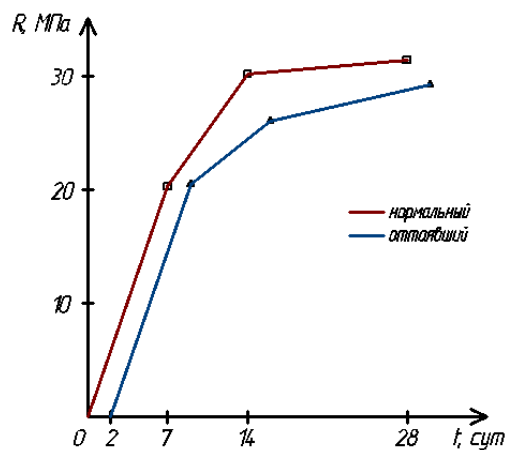


Рис 3. Кинетика твердения бетона состав №1 (В/Ц=0,55)

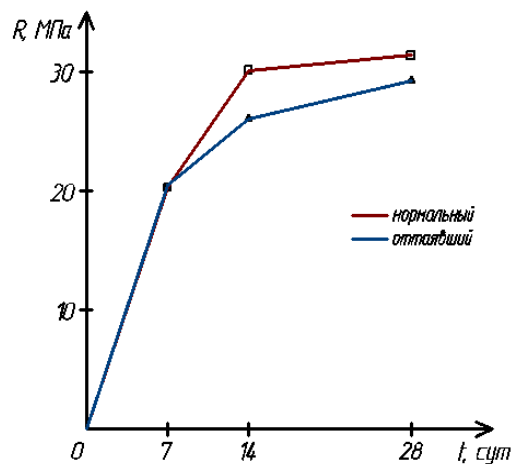


Рис 4. Кинетика твердения бетона состав №1 (В/Ц=0,55). Совмещенное время начала нормального твердения

Из рисунка 3 видно, что процесс твердения бетона сместился по времени на продолжительность замораживания. Если совместить начало твердения обеих партий образцов (рисунок 4), то в семидневном

возрасте у оттаявших образцов прочность такая же, как и у образцов нормального твердения. Но при 14 и 28 дневном возрасте, некоторая потеря прочности (7%). Судя по графику можно ожидать, что бетон подвергшийся замораживанию со временем достигнет такой же прочности, как и образцы нормального твердения с возможным нарастанием.

Таблица 6. Результаты испытания бетона. Состав 2 (В/Ц=0,65)

Возраст бетона, дней	Условия твердения	Средняя прочность бетона, МПа
7	Нормальные	18,45
7+2*	Оттаявшие	16,65
14	Нормальные	22,55
14+2*	Оттаявшие	18,8
28	Нормальные	26,55
28+2*	Оттаявшие	22,7

Прим.* Сразу после затворения эти образцы замораживались при температуре минус 20°С в течение 2 суток, затем были помещены в камеру нормального твердения.

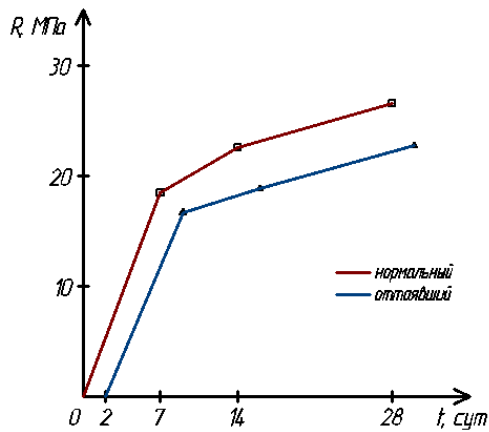


Рис 5. Кинетика твердения бетона состава 2 (В/Ц=0,65)

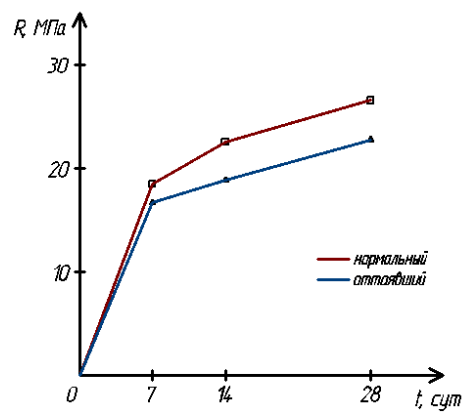


Рис 6. Кинетика твердения бетона состава 2 (В/Ц=0,65). Совмещенное время начала нормального твердения

Отставание прочности замороженных и оттаявших образцов от нормально твердевших больше, т.к. В/Ц больше. Влияние замораживания на бетонные смеси с большим водосодержанием (рисунки 7 и 8) сказывается более резко.

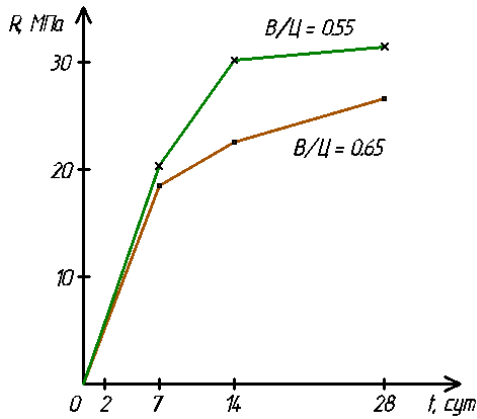


Рис 7. Кинетика твердения нормальных образцов с разным В/Ц

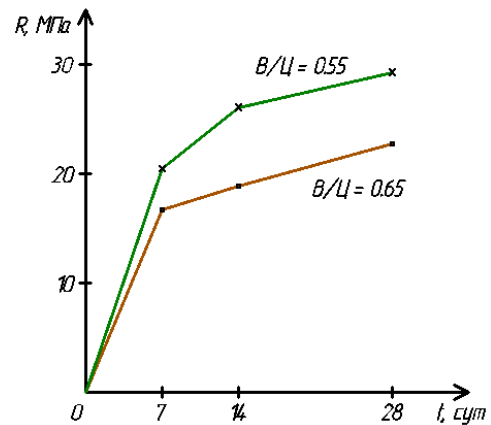


Рис 8. Кинетика твердения оттаявших образцов с разным В/Ц

7. Заключение

В результате работы были получены следующие выводы:

1) На ранних этапах твердения (до 7 дневного срока) скорости набора прочности равны как для образцов основной партии, так и для контрольных образцов. В более позднем сроке скорость твердения оттаявших образцов снижается, что в результате ведет к снижению прочности.

2) Раннее замораживание бетонной смеси ведёт к снижению прочности, и в данном случае потери составили 6,8% для Состава №1 ($B/C=0,55$), и 14,5% для Состава №2 ($B/C=0,65$). Чем выше содержание воды, тем больше потери прочности.

Данная тематика может быть расширена и возможно провести дополнительные исследования, увеличив длительность замораживания, рассмотрев влияние добавок и прочее, для того чтобы получить более подробную информацию об особенностях процессов, рассмотренных в статье.

Литература

- [1]. Миронов С. А., Парийский А. А., Барабанщиков Ю.Г. Изменение фазового состава воды и кинетика тепловыделения бетона, твердеющего при отрицательной температуре // Гидротехническое строительство. 1981. № 4. С.18-22.
- [2]. Мозгалёв К.М., Головнёв С.Г. Особенности раннего замораживания самоуплотняющихся бетонов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2012. Выпуск № 38 (297). С. 43-45. Кришан А.Л., Сабиров Р.Р., Кришан М.А. Расчет прочности сжатых железобетонных элементов с косвенным армированием сетками // Архитектура. Строительство. Образование. 2014. № 1 (3). с. 215-224.
- [3]. Чумадова Л.И., Парийский А.А. Свойства и методы испытаний бетонной смеси // Уч. пособие. – СПб.: Изд. СПбГТУ. 2000.С. 5-20.
- [4]. Cold Weather Concrete // TECHNICAL BULLETIN ТВ-01.06 // W. R. Grace & Co.-Conn. 2006. Pp. 1-4.
- [5]. Чумадова Л.И., Парийский А.А., Соколов И.Б., Чурилло А.В. Строительные материалы. Свойства и метод испытания бетона // Учеб. Пособие. СПбГТУ. 2000.С. 4-6.
- [6]. П.С. Красовский. Зимние способы бетонирования // Издательство ДВГУПС Хабаровск. 2008. С. 6.
- [7]. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования // М.: Стройиздат. 1975. С. 404.
- [8]. Миронов С.А. Бетоны, твердеющие на морозе // С.А. Миронов, А.В. Лагойда. М.: Стройиздат. 1975. С. 265.
- [9]. О.С. Иванова. Кинетика нарастания прочности бетона при замораживании и оттаивании // Бетон и железобетон – избранные статьи. 1980. С. 101-104.
- [10]. Тейлор Х. Химия цемента (перевод с англ.) // М.: Мир, 1996. С. 265.
- [11]. А.В. Лагойда. О массопереносе и замораживании бетона в раннем возрасте // Бетон и железобетон – избранные статьи. 1994.С. 7-10.
- [12]. Чумадова Л. И., Фролов А.В., Черкашин А.В., Акимов Л.И. Prospects of use and impact of nanoparticles on the properties of high-strength concrete // Applied Mechanics and Materials. P.584-586. 2014. Pp.1416-1424 .
- [13]. Фролов А.В., Черкашин А.В., Акимов Л., Ватин Н.И., Колтцова Т., Насибуллин А., Толочко О., Чумадова Л.И. An Impact of Carbon Nanostructured Additives on the Kinetics of Cement Hydration // Applied Mechanics and Materials. 2015. Pp 725-726. Pp. 425-430.
- [14]. V. Cecconello; B. Tutikian II The influence of low temperature on the evolution of concrete strength // Rev. IBRACON Estrut. Mater. vol.5 no.1 SãoPauloFeb. 2012. Pp3-8.
- [15]. Metin Husem, Serhat Gozutok. The effects of low temperature curing on the compressive strength of ordinary and high performance concrete // Construction and Building Materials, Volume 19, Issue 1, February 2005. Pp 49-53.
- [16]. CIP27-Cold weather concreting // National Ready Mixed Concrete Association. 1998.
- [17]. Ronald G. Burg. The Influence of Casting and Curing Temperature on the Properties of Fresh and Hardened Concrete // Portland Cement Association Research and Development Bulletin RD11.3.1996. Pp.5.
- [18]. J.M. Khatib, O.Kayali, S.Kenai, M.N. Haque. Effect of Curing Temperature on Relative Strength of Metakaolin Concrete // Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. June 28-30. 2010. Pp. 4.
- [19]. В.М. Москвин и др. Стойкость бетона и железобетона при отрицательной температуре // М.: Стройиздат, 1967. С.206.
- [20]. Красовский П.С. Исследования свойств бетонов, твердевших при отрицательных температурах // НТ отчет. Хабаровск. 1988. С. 92.
- [21]. Головнев С.Г. Оптимизация методов зимнего бетонирования // Л.: Стройиздат 1983. С. 233.
- [22]. Сизов В.Н. Строительные работы в зимних условиях // Издание 4. 1961. С. 111.
- [23]. FuYunYang // Experimental Study on Freeze Thaw Resistance Concrete. 2003. P. 41-44.
- [24]. L. X. Wang , X. T. Shan, Y. Q. Zhang, Ch. Sh. Li, Z. X. Wang, X. H. Wang Experimental Study of Compression and Carbonation in Concrete Subjected to Freeze-Thaw Environment // 2014. P. 814-818.
- [25]. W. L. Song, X. F. Li, K. F. Ma. The Effect of Freeze-Thaw Cycles on Mechanical Properties of Concrete // 2010. P. 3429-3432.
- [26]. Y. Huang, T. Bao, Zh. Huang, H. Wang. Freeze-Thaw Damage Model for Different Types of Concrete // 2014. P. 1776-1779.
- [27]. Головнев С. Г. Зимнее бетонирование: Этапы становления и развития // Вестник Волгоградского Государственного Архитектурно-Строительного Университета. 2013. С. 529-534.
- [28]. Головнев С. Г., Красный Ю.М., Красный Д. Ю. Производство бетонных работ в зимних условиях. Обеспечение качества и эффективность // Уч. Пособие г. Москва 2013. С. 100-110.
- [29]. Тринкер А.Б. Зимнее бетонирование и работы в условиях вечной мерзлоты // Технологии бетонов. Изд.Композит XXI век (Москва) 2013. С. 42-44.

- [30]. Fu X.P., Liu X.X., Sun Y. Z., Huang P., Li Y. C., Shah R. Experimental study of mechanical properties of concrete after freeze- thaw exposures // International Conference on Frontiers of Advanced Materials and Engineering Technology 2014. P. 131-135.
- [31]. Luo X. Y., Zou H. B., Zhou Q. F., Liang Y., Wang J. Experimental study on frost- resistant property of concrete at pressure stress state // Jianzhu Cailiao Xuebao Journal of Building Materials 2013. P. 1058-1062.
- [32]. Zhang S., Zhao B. Research on the performance of concrete materials under the condition of freeze- thaw cycles // Department of Architecture Civil Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing, China 2013. P. 860-871.
- [33]. ГОСТ 30744-2001 Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка.
- [34]. ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия.
- [35]. ГОСТ 8269.0-97 Межгосударственный стандарт щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ методы физико-механических испытаний.
- [36]. Ватин Н.И., Барабанщиков Ю.Г., Дудин М.О. Моделирование набора прочности бетона в программе ELCUT при прогреве монолитных конструкций проводом // Magazine of Civil Engineering. 2015. С. 33-45.
- [37]. Корсун В.И. Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий // Макеевка: ДонГАСА. 2003. С. 153.

The kinetics of curing of concrete at an early freeze

N.A. Kudaibergenova¹, L.I. Chumadova², N.I. Vatin³, I.G. Bakirova⁴, A.A. Bratashov⁵, A.V. Kabanov⁶

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO	Article history	Keywords
scientific article	Received 20 April 2015	concrete; strength; freezing; kinetics; curing; water-cement ratio;
doi:		

ABSTRACT

One of the most important materials in modern construction is concrete. The article investigates the effect of freezing on the kinetics of early strength development of concrete. At the moment the construction process in the winter is a difficult task faced by the industry professionals. Because of the cyclical processes of freezing and thawing, as well as due to the low temperatures, the hardening rate and the quality of concrete blocks is reduced, which creates a threat to the project under construction. To study this process several series of concrete samples in the amount of 18 pieces of sizes 100h100h100 mm with different water-cement ratio (the W/C) and the hardening conditions. Control samples hardened in the standard normal conditions, and the major parties undergone early freeze in a freezer at $t = -20^{\circ}\text{C}$, then to test the samples are stored with the inspection parties. The same was done with the samples with the other water-cement ratio. Compressive Tests were carried out at 7, 14 and 28 days. The results are presented in tables and graphs, the analysis of which you can make certain conclusions, according to which the concrete of the major parties are losing a small part of the strength, but have a tendency to set up its further alignment with the control parties.

Corresponding author:

1. +7(911)0964006, kunail_919@inbox.ru (Nailya Abdirasimovna Kudaibergenova, Student)
2. +7(921)7609300, chumadova.2011@mail.ru (Liudmila Ivanovna Chumadova, Ph.D, Associate Professor)
3. +7(921)9643762, vatin@mail.ru (Nikolai Ivanovich Vatin, Ph.D., Professor)
4. +79811405127, lady-di.92@mail.ru (Bakirova Indira Garifovna, Student)
5. +7(981)8451950, aleks.kuskus@mail.ru (Aleksey Aleksandrovich Bratashov, Student)
6. +7(921)4046707, alexis_kabanov@list.ru (Alexey Vasilievich Kabanov, Student)

References

- [1]. Mironov S. A., Pariyskiy A. A., Barabanshchikov Yu.G. Izmeneniye fazovogo sostava vody i kinetika teplovydeleniya betona, tverdeyushchego pri otritsatelnoy temperature // *Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo*. 1981. № 4. S.18-22.
- [2]. Mozgalev K.M., Golovnev S.G. Osobennosti rannego zamorazhivaniya samouplotnyayushchikhsya betonov // *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012. Vypusk № 38 (297). S. 43-45.
- [3]. Chumadova L.I., Pariyskiy A.A. Svoystva i metody ispytaniy betonnoy smesi // *Uch. posobiye*. – SPb.: Izd. SPbGTU. 2000. Pp. 5-20. (rus)
- [4]. Cold Weather Concrete // *TECHNICAL BULLETIN TB-01.06* // W. R. Grace & Co.-Conn. 2006. Pp.1-4.
- [5]. Chumadova L.I., Pariyskiy A.A., Sokolov I.B., Churillo A.V. Stroitelnyye materialy. Svoystva i metod ispytaniya betona // *Ucheb. Posobiye*. SPbGTU. 2000. Pp. 4-6. (rus)
- [6]. P.S. Krasovskiy. Zimniye sposoby betonirovaniya // *Izdatelstvo DVGUPS Khabarovsk*. 2008. 6 p. (rus)
- [7]. Mironov S.A. Teoriya i metody zimnego betonirovaniya // *M.:Stroyizdat*. 1975. 404 p. (rus)
- [8]. Mironov S.A. Betony, Tverdeyushchiye na morose // S.A. Mironov, A.V. Lagoyda.M. :Stroyizdat. 1975. 265 p. (rus)
- [9]. O.S. Ivanova. Kinetika narastaniya prochnosti betona pri zamorazhivanii i ottaivanii // *Beton i zhelezobeton – izbrannyye stati*. 1980. Pp. 101-104. (rus)
- [10]. Taylor H.W. Khimiya tsementa [Cement Chemistry] // *M.: Mir*, 1996. 265 p. (rus)
- [11]. A.V. Lyagoyda. O massoperenose i zamorazhivanii betona v rannem vozraste // *Beton i zhelezobeton – izbrannyye stati*. 1994. Pp 7-10. (rus)
- [12]. Chumadova L. I., Frolov A.V., Cherkashin A.V., Akimov L.I. Prospects of use and impact of nanoparticles on the properties of high-strength concrete // *Applied Mechanics and Materials*. R.584-586. 2014. Pp.1416-1424 .
- [13]. Frolov A.V, Cherkashin A.V., Akimov L., Vatin N.I., Koltsova T., Nasibulin A., Tolochko O., Chumadova L.I. An Impact of Carbon Nanostructured Additives on the Kinetics of Cement Hydration // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Pp 725-726. Pp. 425-430.
- [14]. V. Cecconello; B. Tutikian II The influence of low temperature on the evolution of concrete strength // *Rev. IBRACON Estrut. Mater. vol.5 no.1 SãoPauloFeb*. 2012. Pp.3-8.
- [15]. Metin Husem, Serhat Gozutok. The effects of low temperature curing on the compressive strength of ordinary and high performance concrete // *Construction and Building Materials*, Volume 19, Issue 1, February 2005.Pp 49-53.
- [16]. CIP27-Cold weather concreting // *National Ready Mixed Concrete Association*. 1998.
- [17]. Ronald G. Burg. The Influence of Casting and Curing Temperature on the Properties of Fresh and Hardened Concrete // *Portland Cement Association Research and Development Bulletin RD11.3.1996*. Pp.5.
- [18]. J.M. Khatib, O.Kayali, S.Kenai, M.N. Haque. Effect of Curing Temperature on Relative Strength of Metakaolin Concrete // *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. June 28-30. 2010. Pp. 4.
- [19]. V.M. Moskvina i dr. Stoykost betona i zhelezobetona pri otritsatelnoy temperature // *M.: Stroyizdat*, 1967. Pp. 206. (rus)
- [20]. Krasovskiy P.S. Issledovaniya svoystv betonov, tverdevshikh pri otritsatelnykh temperaturakh // *NT otchet*. Khabarovsk. 1988.S. 92. (rus)
- [21]. Golovnev S.G. Optimizatsiya metodov zimnego betonirovaniya // *L.:Stroyizdat* 1983. 233 p. (rus)
- [22]. Sizov V.N. Stroitelnyye raboty v zimnikh usloviyakh // *Izdaniye 4*. 1961. 111 p. (rus)
- [23]. FuYunYang Experimental Studyon Freeze Thaw Resistance Concrete // 2003. Pp.41-44.
- [24]. L. X. Wang , X. T. Shan, Y. Q. Zhang, Ch. Sh. Li, Z. X. Wang, X. H. Wang. Experimental Study of Compression and Carbonation in Concrete Subjected to Freeze-Thaw Environment // 2014 Pp. 814-818.
- [25]. W. L. Song, X. F. Li, K. F. Ma. The Effect of Freeze-Thaw Cycles on Mechanical Properties of Concrete // 2010. Pp.3429-3432.
- [26]. Y. Huang, T. Bao, Zh. Huang, H. Wang. Freeze-Thaw Damage Model for Different Types of Concrete // 2014. Pp. 1776-1779.

- [27]. Golovnev S. G. Zimneye betonirovaniye: Etapy stanovleniya i razvitiya // Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. 2013. Pp. 529-534. (rus)
- [28]. Golovnev S. G., Krasnyy Yu.M., Krasnyy D. Yu. Proizvodstvo betonnykh rabot v zimnikh usloviyakh. Obespechenie kachestva i effektivnost // Uch. Posobiye g. Moskva 2013. S. 100-110. (rus)
- [29]. Trinker A.B. Zimneye betonirovaniye i raboty v usloviyakh vechnoy merzloty // Tekhnologii betonov. Izd.Kompozit XXI vek (Moskva) 2013. S. 42-44. (rus)
- [30]. Fu X.P., Liu X.X., Sun Y. Z., Huang P., Li Y. C., Shah R. Experimental study of mechanical properties of concrete after freeze- thaw exposures // International Conference on Frontiers of Advanced Materials and Engineering Technology 2014. Pp. 131-135.
- [31]. Luo X. Y., Zou H. B., Zhou Q. F., Liang Y., Wang J. Experimental study on frost- resistant property of concrete at pressure stress state // Jianzhu Cailiao Xuebao Journal of Building Materials 2013. Pp. 1058-1062.
- [32]. Zhang S., Zhao B. Research on the performance of concrete materials under the condition of reeze- thaw cycles // Department of Architecture Civil Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing, China 2013. Pp. 860-871.
- [33]. GOST 30744-2001 Tsementy. Metody ispytaniy s ispolzovaniyem polifraktsionnogo peska. (rus)
- [34]. GOST 8736-93 Pesok dlya stroitelnykh rabot. Tekhnicheskiye usloviya. (rus)
- [35]. GOST 8269.0-97 Mezhhosudarstvennyy standart shcheben i graviy iz plotnykh gornykh porod i otkhodov promyshlennogo proizvodstva dlya stroitelnykh rabot metody fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy. (rus)
- [36]. Vatin N.I., Barabanshchikov Yu.G., Dudin M.O. Modeling a set of concrete strength in the program ELCUT at warming of monolithic structures by wire// Magazine of Civil Engineering. 2015. Pp. 33-45.
- [37]. Korsun V.I. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye zhelezobetonykh konstruktsiy v usloviyakh temperaturnykh vozdeystviy // Makeyevka: DonGASA. 2003. S. 153.

Кудайбергенова Н.А., Чумадова Л.И., Ватин Н.И., Бакирова И.Г., Браташов А.А., Кабанов А.В., Кинетика набора прочности бетона при раннем замораживании // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №2 (41). С. 7-17.

Kudaibergenova N.A., Chumadova L.I., Vatin N.I., Bakirova I.G., Bratashov A.A., Kabanov A.V. The kinetics of curing of concrete at an early freeze. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 2 (41), Pp. 7-17. (rus)