

УДК 691.322

UDC 691.322

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

PROPERTIES OF THE FINE-GRAINED CONCRETE RECEIVED AT NEGATIVE TEMPERATURES

Буренина Ольга Николаевна
к.т.н.

Burenina Olga Nikolaevna
Cand.Tech.Sci., Leading Scientist

Давыдова Наталья Николаевна
н.с

Davydova Natalya Nikolaevna
scientist Researcher

Андреева Айталипа Валентиновна
м.н.с.

Andreeva Aitalina Valentinovna
junior researcher

Даваасенгэ Сардана Сурэновна
м.н.с.

Davaasenge Sardana Surenovna
junior researcher

Саввинова Мария Евгеньевна
н.с
ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

Savvinova Maria Evgenyevna
scientist Researcher
Federal State-funded Research Institution Institute of Oil and Gas Issues, the Siberian branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Исследования мелкозернистых бетонов свидетельствуют о возможности использования минеральных механоактивированных и нанодобавок в комплексе с противоморозными добавками, обеспечивающими организацию производства бетонных работ при отрицательных температурах воздуха, что особенно важно для Арктических регионов

Researches of fine-grained concrete testify the possibility of using mineral mechanically activated and nano-additives in a complex with the anti-frost additives providing the organization of production of concrete works at negative air temperatures that is especially important for the Arctic regions

Ключевые слова: ЗИМНЕЕ БЕТОНИРОВАНИЕ, ПРОТИВОМОРОЗНАЯ ДОБАВКА, ПРОЧНОСТЬ ПРИ СЖАТИИ, ПЛОТНОСТЬ, ПОРИСТОСТЬ, НАНОДИСПЕРСНЫЙ ПОРОШОК АНОРТИТА, ШПИНЕЛЬ МАГНИЯ, КЛИНОПТИЛОЛИТ, МЕХАНОАКТИВАЦИЯ, АКТИВИРОВАННЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ

Keywords: WINTER CONCRETING, ANTIFROSTY ADDITIVE, DURABILITY AT COMPRESSION, DENSITY, POROSITY, NANODISPERSE POWDER OF AN ANORTIT, MAGNESIUM SPINEL, KLINOPTILOLIT, MECHANICAL ACTIVATION, ACTIVATED MINERAL FILLERS

Применение быстротвердеющих цементов, а также бетонов с большими добавками солей, обеспечивающих организацию работ при отрицательных температурах, переход на индустриальные методы строительства и связанное с этим широкое использование сборных бетонных конструкций, значительно изменили технику производства бетонных работ на строительных площадках в зимних условиях. [1].

Основная причина прекращения твердения бетонных смесей при воздействии низких температур – замерзание в них воды. Известно, что содержание в воде солей резко снижает температуру ее замерзания. Если в <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/82.pdf>

процессе приготовления в бетонную смесь ввести определенное количество растворенных солей, то процесс твердения будет протекать и при температуре ниже 0°C.

Введение противоморозных добавок — технологически наиболее простой, удобный и экономически выгодный способ зимнего бетонирования. Этот способ в 1,2—1,4 раза экономичнее, чем способ паропрогрева и бетонирования с предшествующим ограждением сооружения и его утеплением изнутри и в 1,3—1,5 раза экономичнее электропрогрева и электрообогрева. Безобогревное зимнее бетонирование благодаря применению противоморозных добавок позволяет экономить тепло- и электроэнергию при более гибкой технологии проведения работ [1].

Для достижения бетоном проектной прочности необходимо 28 дней выдержки при нормальных условиях. Но выдержать бетон столь долгий период в зимний период трудно. При замораживании бетона на ранних стадиях его твердение прерывается, так как, вся вода переходит в твердую фазу, а твердые тела в химическое соединение почти не вступает. К тому же, свободная вода, замерзнув, расширяется на 10% от первоначального объема, создавая пористую структуру, и образует наледь на зернах песка, что препятствует дальнейшему повышению прочности после размораживания. Это является главной причиной понижения прочности бетона при его раннем замерзании.

Применение добавок, ускоряющих процесс схватывания и твердения цементов, имеет особо важное значение в тех случаях, когда бетонные работы ведутся при пониженных положительных и отрицательных температурах наружного воздуха. В этом случае введение противоморозных добавок является выгодным, чем искусственное создание условий твердения. Необходимость в добавках–ускорителях

твердения возрастает при употреблении медленно твердеющих цементов [3].

Комплексными противоморозными добавками можно предотвратить потери прочности бетона при раннем замораживании и при его дальнейшем твердении. Природа ускоряющего действия добавок заключается в повышении растворимости извести портландцемента и в ускорении процесса гидратации клинкерных минералов. При пониженных температурах продолжительность растворения извести уменьшается, а поэтому добавление ускорителей делается более эффективным.

В качестве вяжущего использовался портландцемент ПЦ 400 Д0 производства ОАО ПО «Якутцемент», соответствующий ГОСТ 10178-85, свойства которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства портландцемента ПЦ 400

№ п/п	Наименование показателя	Величина
1	Водоцементное отношение	0,4
2	Тонкость помола, проход сквозь сито %	83 (13)
3	Нормальная плотность цементного теста, %	26,0
4	Сроки схватывания: - начало: час-мин - конец: час-мин	3-50 5-20
5	Определение прочности цемента в возрасте 28 суток, МПа: - при изгибе - при сжатии	7,3 46,5

В качестве заполнителя использовался речной песок из поймы реки Лена, по гранулометрическому составу в соответствии с ГОСТ 8736-93 относящийся ко II классу, к категории - очень мелкий. Модуль крупности песка $M_{кр} = 1,29$. Содержание зерен крупностью: свыше 5 мм – нет; менее 0,16 мм составляет 8,7%; содержание пылевидных и глинистых частиц – 0,84 %. Зерновой состав песка представлен в табл. 2.

В качестве модифицирующих добавок были использованы:

- цеолит Кемпендяйского месторождения из наиболее освоенного пласта Хонгурин III, в котором содержание клиноптилолита составляет 75-90%.

- глина Ой-Бесского месторождения, относящаяся к каолинит-гидрослюдистым группам глин, обладающая средней пластичностью, малой чувствительностью к сушке, малой воздушной и общей усадками;

- нанодисперсные порошки анортита (CaOAl_2O_3) и шпинели магния (MgAl_2O_4), синтезированные в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН г. Новосибирск.

Таблица 2

Зерновой состав речного песка

Наименование остатка	Остатки, % по массе, на ситах						Проход через сито с сеткой №0,63, масс.%
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частный, a_i	-	0,3	2,8	7,4	12,1	69,7	8,7
Полный, A_i	-	0,3	3,1	10,5	22,6	92,6	-

В качестве противоморозной добавки для зимнего бетонирования был использован комплекс добавок нитрита натрия (НН) и ПФМ-НЛК. ПФМ-НЛК производится в сухой форме в виде водорастворимого порошка коричневого цвета, который позволяет получать бетоны с повышенной морозостойкостью и водонепроницаемостью, увеличить прочностные характеристики бетона на 15% и более, снизить расход цемента в равноподвижных смесях на 10-15%.

В табл.3 приведен основной химический состав исходного сырья и минеральных добавок.

Таблица 3

Основной химический состав исходного сырья и минеральных добавок

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	$\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$	TiO_2
цемент	21	6,55	3,67	61,64	3,97		
песок	87,13-90,73	3,85-5,55	1,0-1,75	0,58-0,98	0,14-0,24	3,24-3,89	
глина	55,6	14,40	3,79	1,24	3,50	5,7	0,73
цеолит	62,8	12,16	1,76	2,62	1,88	3,30	0,13

При этом модифицирующие добавки были подготовлены методом механоактивации в планетарной мельнице АГО-2. Противоморозная добавка ПФМ-НЛК разводилась в предварительно нагретой воде до 70°C. Готовые образцы в пресс-формах твердели в климатической камере в течение 28 суток при температуре минус 25°C. изменение массы снимались по истечении 3, 5, 7, 14 и 28 суток.

Для исследования были изготовлены образцы размером 70x70x70мм следующих рецептур (табл. 4, 5). Изготовление образцов проводили на вибростоле для получения изделий из бетона ТНУС-2 (Германия).

Таблица 4

Рецептуры модифицирующих добавок

Условное сокращение	Модифицирующая добавка
П10+д	10% песок (акт.) + 90 песок (неакт.) + 0,7% ПФМ-НЛК + 4% НН
П20+д	20% песок (акт.) + 80 песок (неакт.) + 0,7% ПФМ-НЛК + 4% НН
П30+д	30% песок (акт.) + 70 песок (неакт.) + 0,7% ПФМ-НЛК + 4% НН
П50+д	50% песок(акт.) + 50 песок (неакт.) + 0,7% ПФМ-НЛК + 4% НН
Ц10+д	10% цемент (акт.) + 90 цемент (неакт.) + 0,7% ПФМ-НЛК + 4% НН
Ц20+д	20% цемент (акт.) + 80 цемент (неакт.) + 0,7% ПФМ-НЛК + 4% НН
Ц30+д	30% цемент (акт.) + 70 цемент (неакт.) + 0,7% ПФМ-НЛК + 4% НН
Ц50+д	50% цемент (акт.) + 50 цемент (неакт.) + 0,7% ПФМ-НЛК + 4% НН

Таблица 5

Рецептуры модифицирующих добавок, получаемых совместной активацией

Условное сокращение	Модифицирующая добавка, масс.%	Условное сокращение	Модифицирующая добавка, масс.%	Условное сокращение	Модифицирующая добавка, масс.%
Ц5+д	5% цемент+ 5%цеолит+0,7%П ФМ-НЛК+4%НН	Гл5+д	5% цемент + 5%глина+0,7%ПФ М-НЛК+4%НН	ПЦ5+д	5% цемент+ 5%песок+0,7%ПФ М-НЛК+4%НН
Ц10+д	5% цемент+ 10%цеолит+0,7%П ФМ-НЛК+4%НН	Гл10+д	5% цемент + 10%глина+0,7%П ФМ-НЛК+4%НН	ПЦ10+д	10% цемент + 10%песок+0,7%П ФМ-НЛК+4%НН
Ц15+д	5% цемент+ 15%цеолит+0,7%П ФМ-НЛК+4%НН	Гл15+д	5% цемент + 15%глина+0,7%П ФМ-НЛК+4%НН	ПЦ15+д	15% цемент+ 15%песок+0,7%П ФМ-НЛК+4%НН

Снижение прочности бетона вследствие раннего замораживания происходит не за счет изменения протекающих в нем химических

процессов, а за счет нарушения его физической структуры. Расширение воды в бетоне приводит к раздвижению зерен цемента и заполнителей, к разрыхлению его структуры, вызывая ослабление сцепления растворной части бетона с заполнителем. Объемные изменения в бетоне при замерзании уменьшают плотность, отражаются на сцеплении заполнителя с цементным камнем, что приводит к снижению прочности.

Пористость бетона уменьшается с увеличением срока выдерживания. Наибольшую пористость имеют образцы, замороженные через 3 ч., т.е. в период схватывания цемента. Замораживание цементного камня и бетона в раннем возрасте вредно отражается на его структуре, значительно увеличивая пористость этих материалов.

При зимнем бетонировании плотность образцов с активированными минеральными наполнителями и комплексной добавкой ПФМ-НЛК снижается по сравнению с плотностью исходных образцов в целом на 10%, увеличение пористости на 20% наблюдается у образцов с активированным песком и нанощпинелью магния (табл. 6).

Таблица 6

Физико-механические свойства модифицированного мелкозернистого бетона для зимнего бетонирования

№	Образец	ρ , г/м ³	П _п , %	П _{мз} , %	$\sigma_{сж}$, МПа	λ , Вт/м
1.	Исх +д	1,874	9,12	0,59	6,18	0,47
2.	П (акт) 10+д	1,924	8,40	0,99	6,61	0,69
3.	П (акт) 20+д	1,782	12,45	3,52	5,35	0,51
4.	П (акт) 30+д	1,823	10,94	2,62	4,84	0,39
5.	П (акт) 50+д	1,808	11,46	4,11	5,16	0,54
6.	Ц (акт) 10+д	1,934	7,92	4,49	5,26	0,41
7.	Ц (акт) 20+д	1,919	8,63	1,86	4,51	0,65
8.	Ц (акт) 30+д	1,976	5,89	0,07	6,98	0,59
9.	Ц (акт) 50+д	1,926	8,29	1,68	6,41	0,77
10.	П (акт) 5 + Ц (акт)5+д	1,952	7,03	1,81	3,55	0,78
11.	П (акт) 10 + Ц (акт)10+д	1,909	9,09	0,26	4,98	0,75
12.	П (акт) 15 + Ц (акт)15+д	1,970	6,18	3,36	6,09	0,66
13.	Шпинель +д	1,783	11,44	5,40	5,05	0,79
14.	Анортит +д	1,953	6,98	1,34	6,55	0,72

Низкие показатели прочности при сжатии объясняются технологическими факторами: твердение при отрицательной температуре (минус 25°C) и введение воздухововлекающей добавки могло привести к образованию очагов напряжения на границах раздела фаз с появлением множественных микротрещин и медленному протеканию химических реакций на этапе гидратации.

У остальных составов пористость остается на уровне исходных, при этом прочность при сжатии образцов с активированными минеральными добавками в среднем остается на уровне исходных, но заметен небольшой рост показателей у образцов с малым количеством активированных добавок (рис. 1, 2).

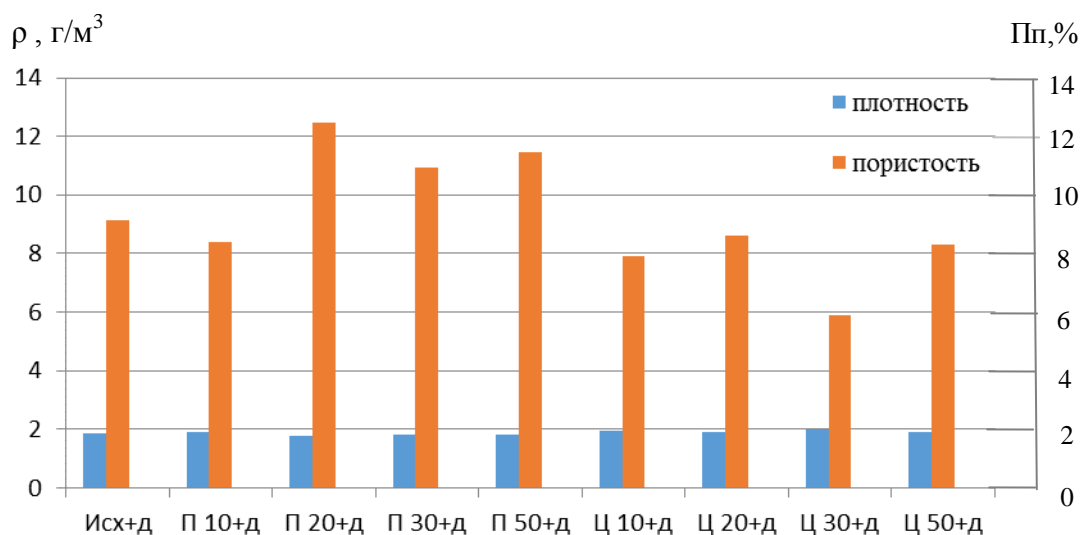


Рис. 1 Плотность и общий объем пор образцов модифицированного мелкозернистого бетона при зимнем бетонировании

Известно, что технология изготовления модифицированного мелкозернистого бетона предусматривает применение противоморозных добавок, влияющих на скорость твердения и его конечную прочность. В связи с этим, было проведено исследование кинетики твердения модифицированного мелкозернистого бетона для зимнего бетонирования (табл.7).

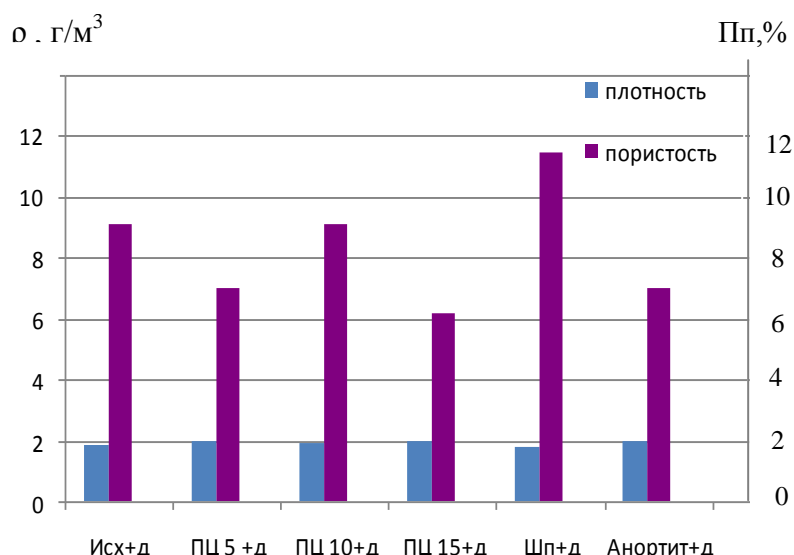


Рис. 2 Плотность и общий объем пор образцов модифицированного мелкозернистого бетона совместной активацией ингредиентов при зимнем бетонировании

Таблица 7

Кинетика твердения модифицированного мелкозернистого бетона при зимнем бетонировании

Составы	1с	3с	7с	14с	21с	28с	Прочность при сжатии, МПа
Исх.+д	10,66	11,19	11,4	11,42	11,63	11,74	6,18
П(акт)10+д	11,26	11,83	12,05	12,07	12,31	12,42	6,61
П(акт)20+д	10,65	11,19	11,41	11,45	11,72	11,85	5,35
П(акт)30+д	12,89	13,44	13,73	13,88	14,02	14,02	4,84
П(акт)50+д	9,97	10,55	10,88	11,01	11,15	11,23	5,16
Ц(акт)10+д	9,66	10,27	10,54	10,65	10,77	10,83	5,26
Ц(акт)20+д	11,48	12,03	12,32	12,45	12,59	12,63	4,51
Ц(акт)30+д	11,0	11,34	11,58	11,73	11,88	12,04	6,98
Ц(акт)50+д	11,34	11,69	11,98	12,12	12,23	12,42	6,41
П(акт)5+Ц(акт)5+д	12,94	13,35	13,65	13,88	13,89	14,12	3,55
П(акт)10+Ц(акт)10+д	12,62	13,11	13,34	13,58	13,61	13,83	4,98
П(акт)15+Ц(акт)15+д	10,14	10,59	10,49	10,99	11,03	11,19	6,09
Гл(акт)5+Ц(акт)5+д	10,69	11,13	11,35	11,61	11,66	11,82	4,41
Гл(акт)10+Ц(акт)5+д	11,36	11,81	11,98	12,15	12,34	11,39	5,91
Гл(акт)15+Ц(акт)5+д	11,53	12,0	12,16	12,32	12,49	12,77	5,34
Цеол(акт)5+Ц(акт)5+д	12,14	12,61	12,75	12,89	13,03	13,28	5,63
Цеол(акт)10+Ц(акт)5+д	11,42	11,86	11,99	12,15	12,33	12,57	5,03
Цеол(акт)15+Ц(акт)5+д	12,69	13,12	13,29	13,37	13,45	13,59	5,72
Аноотит+д	11,98	12,37	12,53	12,61	12,67	12,78	6,55

В ходе исследования выявлено, что у образцов с большим значением изменения массы наблюдается низкая прочность при сжатии. Данный эффект показывает на ускоренную потерю слабосвязанной воды из цементного камня, что влияет на прочностные характеристики будущего материала. Исходя из этого можно судить о том, что в образцах бетона с высоким значением изменения массы происходит неполный процесс гидратации цемента, что подтверждается показателями прочности при сжатии.

Следующим этапом проекта было исследование модифицированных бетонов на теплопроводность (рис. 3), как одного из важнейших факторов для строительных материалов в условиях холодного климата. Результаты исследования представлены на рис.3.

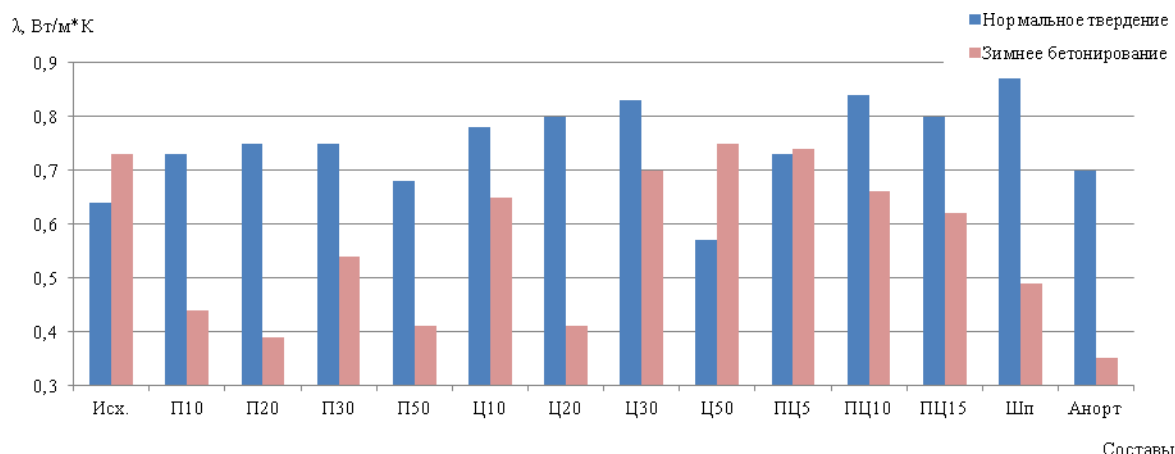


Рис. 3. Зависимость теплопроводности от состава образцов модифицированного бетона

Из полученных данных видно, что значения теплопроводности образцов зимнего бетонирования лучше по сравнению с бетонами, твердевшими в нормальных условиях.

Это можно объяснить тем, что применение воздухововлекающих добавок в цементный раствор для зимнего бетонирования создает более пористую структуру, а ускоренный рост продуктов гидратации приводит к

быстрому заполнению значительного объёма капиллярного пространства с образованием большого количества микрокапилляров и прочных связей между частицами с более равномерным распределением микропор, которые влияют на улучшение показателей теплопроводности материала.

Таким образом, установлено, что применение воздухововлекающих добавок в цементный раствор для зимнего бетонирования создает более пористую структуру, а ускоренный рост продуктов гидратации приводит к быстрому заполнению значительного объёма капиллярного пространства с образованием большого количества микрокапилляров и прочных связей между частицами с более равномерным распределением микропор, которые влияют на улучшение показателей теплопроводности материала.

Проведенные экспериментальные исследования по улучшению технических характеристик мелкозернистых бетонов, полученных при отрицательных температурах, позволяют сделать следующие выводы:

1. Установлена возможность использования минеральных механоактивированных и нанодобавок в комплексе с противоморозными добавками, обеспечивающими организацию производства бетонных работ при отрицательных температурах воздуха, что особенно важно для Арктических регионов.

2. Показано, что при действии низких температур на модифицированные бетоны фазовый состав гидратных образований изменяется незначительно. Основные изменения обусловлены сублимацией льда и превращениями гидратных соединений, в частности, этtringита.

Литература

1. М. А. Садович. Методы зимнего бетонирования в условиях Севера: учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2009-104 с.
2. Руководство по применению бетонов с противоморозными добавками (НИИЖБ). – М.: Стройиздат, 1976. – 80 с.

3. М.Ю. Баженов. Технология бетона – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 45с.
4. Физико-механические основы формирования структуры цементного камня / Л.Г. Шпынова, В.И. Чих, М.А. Савицкий и др. – Львов: Видня шк.: Изд-во Львов.ун-та, 1981. – 160с.
5. Лермит Р. Проблемы бетона. М.: Госстройиздат, 1958. – 293с.

References

1. M. A. Sadovich. Metody zimnego betonirovanija v uslovijah Severa: uchebnoe posobie. – Izd. 2-e, pererab. i dop. – Bratsk: GOU VPO «BrGU», 2009-104 s.
2. Rukovodstvo po primeneniju betonov s protivomoroznymi dobavkami (NIIZhB). – М.: Strojizdat, 1976. – 80 s.
3. М.Ю. Баженов. Tehnologija betona – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 45с.
4. Fiziko-mehanicheskie osnovy formirovanija struktury cementnogo kamnja / L.G. Shpynova, V.I. Chih, M.A. Savickij i dr. – L'vov: Vidnja shk.: Izd-vo L'vov.un-ta, 1981. – 160s.
5. Lermite R. Problemy betona. М.: Gosstrojizdat, 1958. – 293s.