

УДК 693.542.54:666.97.031.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВЛАГИ В БЕТОНЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА БЕТОНА И ОТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА

*Дякина М.В., Томрачев С.А., Фанеништыль Н.В., Гныря А.И.
Томский архитектурно-строительный университет, г. Томск*

Бетон можно смело назвать материалом № 1 во всех областях строительства. Практически везде, начиная от создания фундаментов и заделки стыков между поточными и стеновыми панелями и заканчивая строительством мостовых, берегоукрепительных, канализационных, водопропускных, очистных сооружений, опор электропередач, применяется бетон. Каждое из этих изделий, в период своей эксплуатации, так или иначе сталкиваются с агрессивным воздействием воды, с перепадом температур, с замораживанием и высушиванием.

Бетон – это искусственный каменный материал, состоящий из цементного камня (цемент и вода), крупного и мелкого заполнителей, взятых в определенных пропорциях.

Основной плюс бетона его долговечность. Обеспечивают долговечность физико-механические характеристики бетона: плотность, прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, пористость, которые напрямую зависят от свойства и структуры цементного камня. На свойства и структуру цементного камня большое влияние оказывает: количество воды (физико-механической, физико-химической и химически связанной) в цементном камне и процесс ее движения по сечению выдерживаемых конструкций в зависимости от температурного градиента. Вода движется от более нагретой зоны в охлажденную, при этом после испарения она оставляет за собой капилляры и микроканалы, по которым в дальнейшем при эксплуатации конструкции, влага может проникать извне, что приводит к ухудшению физико-механических свойств бетона.

Все процессы, происходящие в бетоне во время его выдерживания можно описать основным законом массопереноса в капиллярно–пористом теле по формуле А.В. Лыкова:

$$I_m = b_n \cdot n_0 \cdot D_u - b_n \cdot d \cdot t \cdot \Delta T - k_p \cdot D_p \quad (1)$$

Коэффициент b_n характеризует инерционные свойства тела при распространении полей потенциала вещества (D_u) и тепла (ΔT). Первый член уравнения является выражением влагопроводности и указывает, что перенос вещества осуществляется за счет градиента влажности материала. Второй член уравнения выражает термовлагопроводность и указывает, что перенос влаги проходит также за счет градиента температуры в теле. Третий член указывает на зависимость переноса влаги в капиллярном теле за счет градиента общего давления (D_p).

Таким образом, причинами движения влаги в бетоне являются:

- давление;
- температура;
- ионная концентрация;
- эффект силовых полей.

Единственным выходом устранения движения влаги в бетоне, образования капилляров и пор является необходимость подбора правильного количества воды при изготовлении бетонной смеси.

На процесс, связанный с движением влаги в бетоне, влияют такие факторы, как гелиевая и пористая структура, адсорбция, вязкость, пористость и водонепроницаемость.

Для исследования процесса внутреннего неизотермического массопереноса, в лаборатории кафедры ТСП был проведен эксперимент по влиянию температурного градиента на процесс перемещения влаги в бетоне на установке регулируемых температурных градиентов. Эта установка дает возможность в автономном режиме создавать и поддерживать в течение заданного времени неоднородное температурное поле в одном горизонтально расположенном образце твердеющего бетона. Установка состоит из климатической камеры, устройства для крепления образцов опалубки, комплекта приборов, измерения и регулирования температуры (рис. 1).

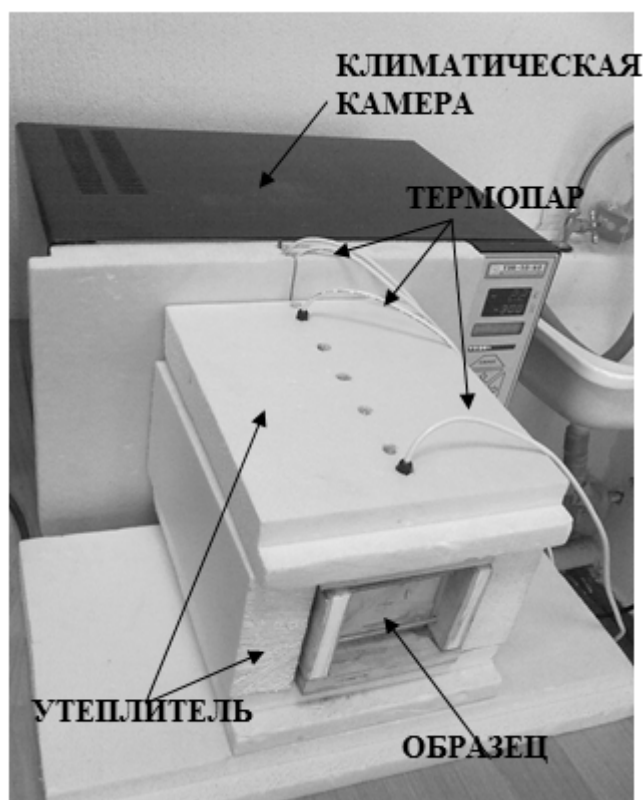


Рис. 1. Установка для проведения экспериментов.

Климатическая камера ТЭК-50/60 имеет объемом 6 литров, предназначена для испытания и исследования объектов в условиях с различными температурами. Интервал рабочих температур от -50 до $+60^{\circ}\text{C}$. Экспериментальная деревянная опалубка (рис. 2), в которую укладывается бетонная смесь, имеет внутренний размер $100 \times 100 \times 300$ мм, по торцам установлены металлические пластины толщиной 5 мм. Внутри образец разделен на 6 равных отсеков, с помощью водопроницаемых мембран. Стальная пластина с одной стороны находится при воздействии электронагревателя, с другой стороны входит в рабочий объем камеры и охлаждается с заданным режимом посредством аппаратно-программного комплекса установки.

Методика экспериментального исследования массопереноса в свежесушеном бетоне

Проведен эксперимент влияния температурного градиента на процесс перемещения влаги в мелкозернистом бетоне с добавленным суперпластификатором – Muraplast FK48.

Состав бетонной смеси: цемент – 0,964 кг; песок – 1,92 кг; щебень – 4,16 кг; вода – 0,48 л; Muraplast FK48 – 7,8 г.

Измерения температуры в периоды охлаждения производится электронным термометром ТЭН-4. Термопары установлены по длине образца в восьми сечениях. Изменение температуры представлены на рис. 3.

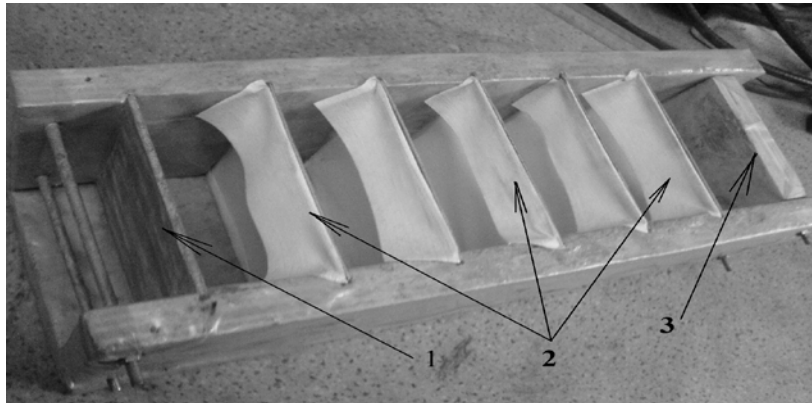


Рис. 2. Деревянная опалубка. 1 – металлическая пластина; 2 – разделительная водонепроницаемая мембрана; 3 – деревянная пластина.

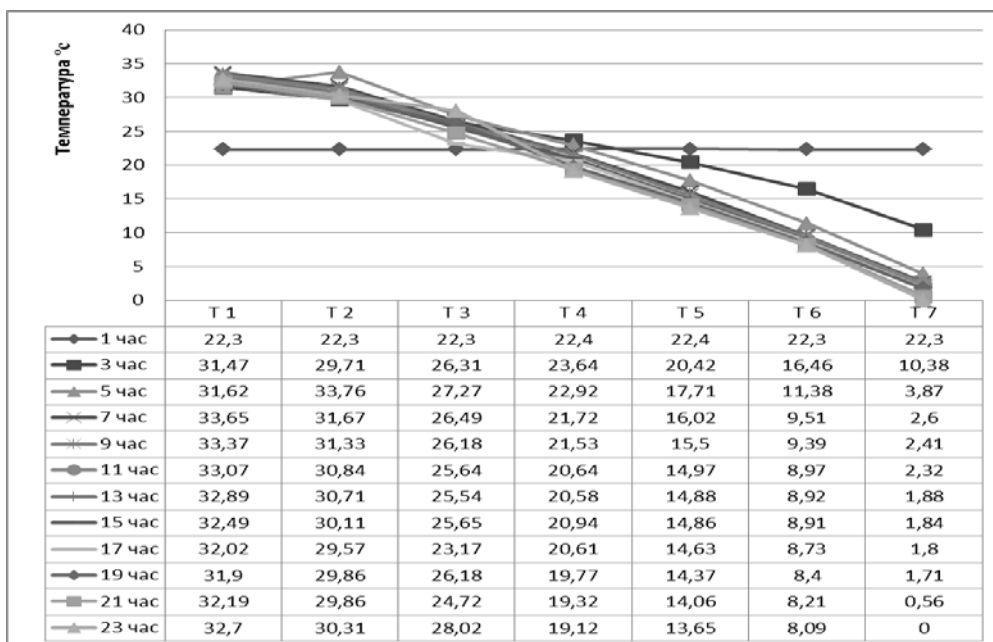


Рис. 3. Распределение температур по сечениям образца.

Температура «горячего» торца поддерживалась при температурах 20–35 °С. Температура «холодного» торца поддерживалась на задаваемом уровне в пределах значений 0 °С. Выбор нижнего значения – это создание максимально возможного градиента температуры на холодном торце для данного эксперимента, отсутствие или наоборот присутствие льда в охлажденной зоне.

Общее время эксперимента 24 часа. Влажность бетона, сложившаяся по направлению температурного градиента, определяется термостабно-весовым способом, то есть высушиванием разделенных частей по длине образца. Части образца в течение 4 часов высушивали до постоянной массы в предварительно нагретом до 105 °С сушильном шкафу. Влажность определялась отношением массы влаги к массе сухого образца. Данные представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание влаги в образцах

№	Влажный, гр.	Сухой, гр.	Влагосодержание, гр.	%
1	1233	1199	34	2,75
2	1148	1116	32	2,78
3	1103	1071	32	2,90
4	1214	1180	34	2,81
5	1166	1133	33	2,83
6	1146	1110	36	3,14

Вывод: Повышенное содержание воды в образце №6, который находился со стороны морозильной камеры, что объясняется законом физики: движение влаги происходит от более нагретой зоны к охлажденной, где пониженное давление.

Методика определения относительной прочности бетона.

Выдержанные в неизотермических условиях в течение 24 часов образцы помещались в нормальные условия твердения и выдерживались 12 суток для определения относительной прочности и капиллярной пористости. Испытания проводились в лаборатории кафедры физики ТГАСУ на гидравлическом прессе с давлением до 10 т. Для этого из каждой шести частей по длине образца вырезались по три контрольных образца, размером 20x20x20 мм. Скорость деформации 4 мм/мин. По результатам анализа распределения влажности по сечению образцов предполагалось, что наименее плотными будут слои, переувлажненные в ранний период времени.

В результате определения относительной прочности для каждого из 18 образцов были получены кривые деформации кубиков (рис. 4).

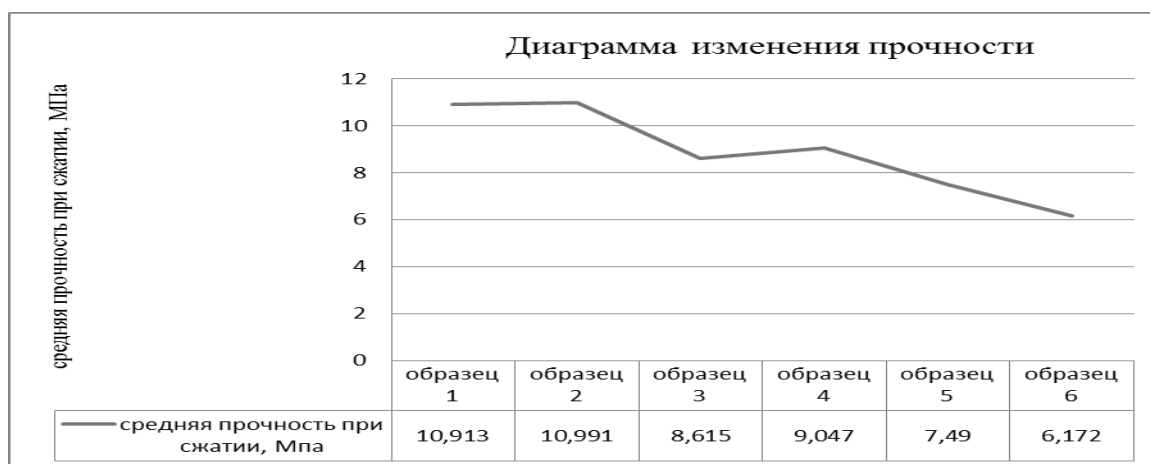


Рис. 4. Диаграмма изменения прочности по длине образца.

Из полученной диаграммы можно сделать следующие выводы:

- 1) наименее прочными оказались образцы, находившиеся в охлажденном состоянии;
- 2) скачок показаний образцов объясняется тем, что они имели нечеткие геометрические размеры.

Методика определения капиллярной пористости бетона

Опыты по определению капиллярной пористости бетона проводились в «Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН». Капиллярная пористость образцов определялась по изображениям структур, полученных методом растровой микроскопии при увеличении в 2000 раз. При этом использовался растровый микроскоп Hitachi TM-1000. (рис. 5).



Рис. 5. Общий вид установки Hitachi TM-1000.

Метод растровой электронной микроскопии (РЭМ), в отличие от других методов определения характеристик поровой структуры, не разрушает структуру при подготовке образцов, не требует специальной пропитки или обработки поверхности, ее искажающей. Кроме того, он удобен для сравнения с моделью, так как полученные изображения обрабатываются одним и тем же методом. Подготовка образцов заключается в получении образцов с оптимально ровным профилем излома заданного размера.

Основные сложности при использовании РЭМ состоят в получении снимков одинакового качества, правильного подбора увеличения для заданного диапазона пор, получения количественной информации при обработке изображений.

Первый вопрос решался применением устройства, совместимого с компьютером. Изображения из микроскопа передавались в компьютер при помощи специального блока и программы, минуя операции, связанные с обычной фотографией объекта и искажающих их качество. Программное обеспечение установки Hitachi TM-1000 позволило определить химический состав образца (рис. 6).

Увеличение структуры образцов при съемке подбиралось с позиций обеспечения достаточного для статистического анализа количество объектов (пор) капиллярного диапазона и качества изображения.

Количественная обработка снимков производилась специально разработанной программой («No1e»), определяющей поры и их площади. Идентификация пор происходила по отношению к уровню яркости изображения.

Так как поверхность образца была объемной, необходимо было отделить на снимках представительную площадь и оставшуюся (занятую неровностями) скола или крупными порами. Этот анализ не входил в нашу задачу. Путем пробных снимков и их обработки определено, что более технологичными для обработки являются увеличения в 2000 раз. Неровностями и дефектами изображений считались объекты размером более 10 мкм.

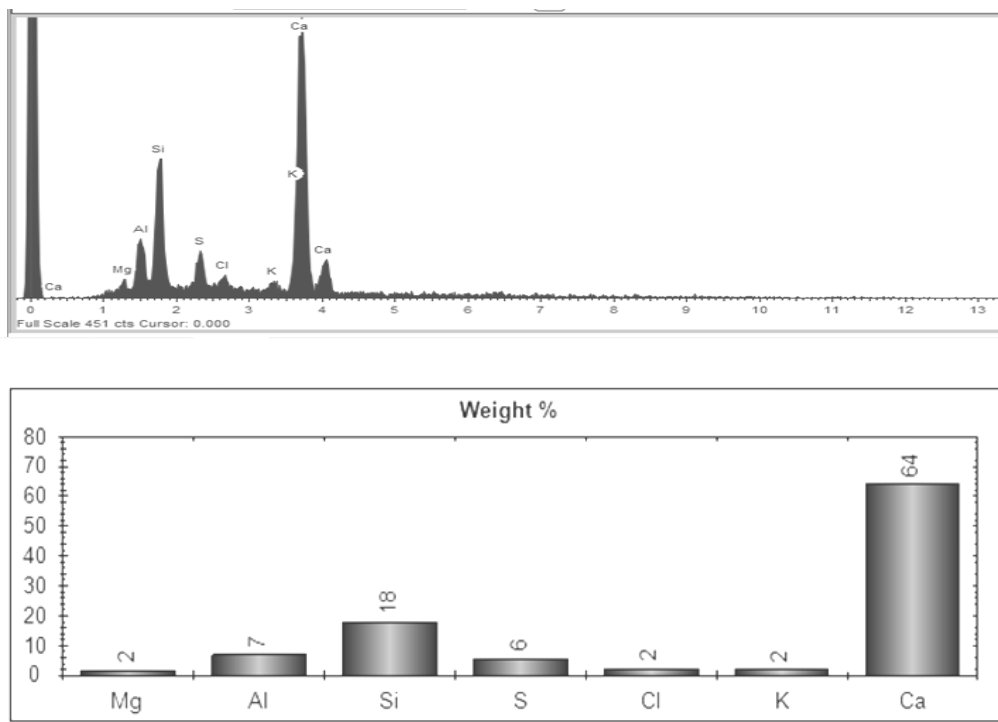


Рис. 6. Химический состав образца в процентном соотношении.

Анализ капиллярных пор производился по 3 изображениям скола. Качество снимков и порядок их обработки можно оценить по (рис. 7.) При анализе учитывались объекты, попадающие в диапазон от 0,5 до 10 мкм, производился их пересчет на единицу площади по формуле:

$$N_i^p = \frac{n_0^i}{\sum F_m - \sum F_n}, \quad (2)$$

где N_i^p – количество пор на мкм²; F_m – площадь одного снимка; F_n – площадь пор радиусом более 10 мкм.

a

б

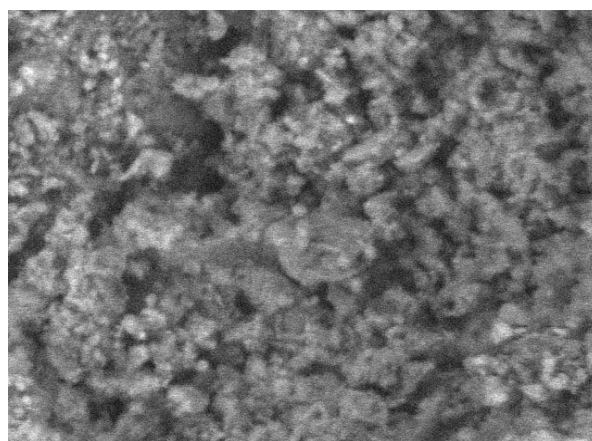
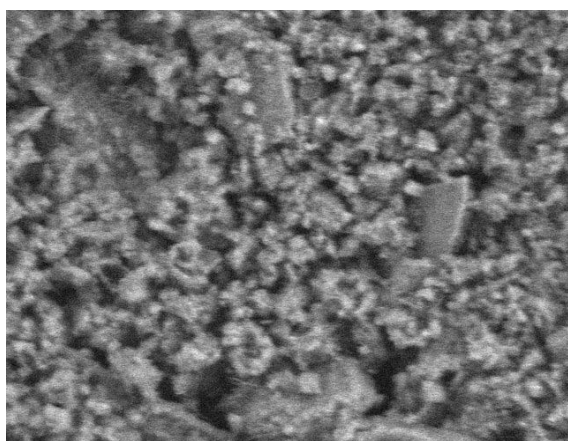


Рис. 7. Изображения, полученные со скола пятого (а) и шестого (б) образцов мелкозернистого бетона на растровом электронном микроскопе Hitachi TM-1000.

Гистограммы, полученные с помощью программы OriginalPro, для каждого из шести отсеков, были объединены в общую картину капиллярно-пористой структуры, и была построена гистограмма количественного (рис. 8), а также процентного соотношения радиуса пор (рис. 9).

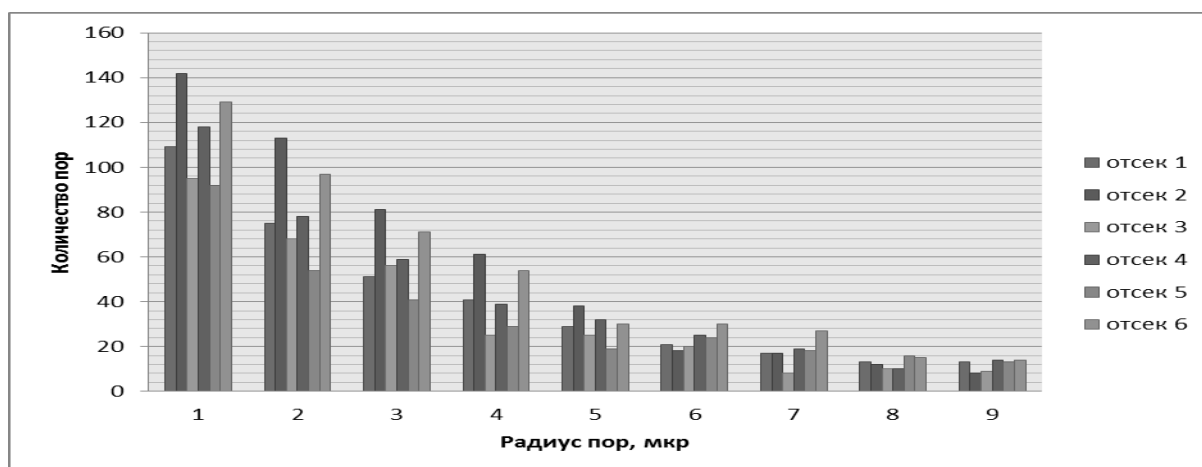


Рис. 8. Гистограмма количества и радиуса пор.

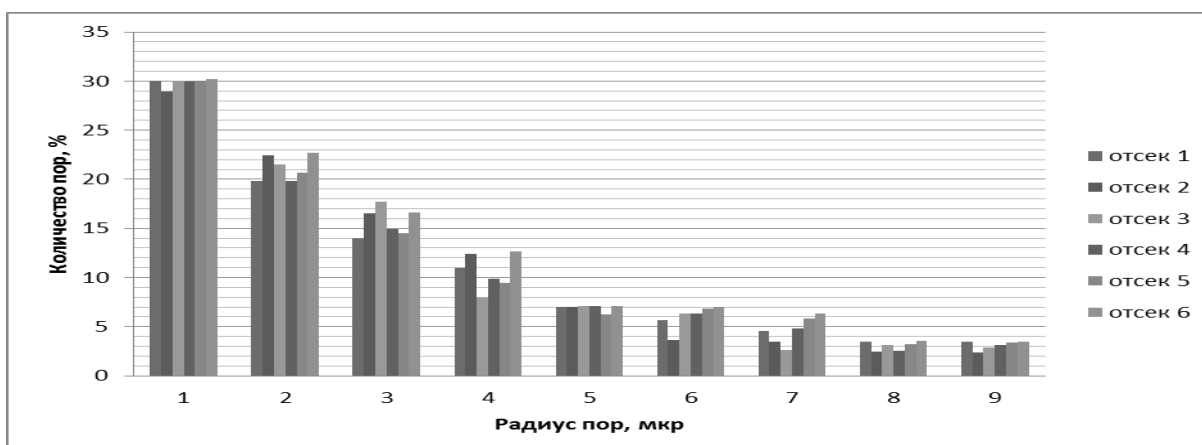


Рис. 9. Гистограмма количества и радиуса пор в процентном соотношении.

Из полученной диаграммы можно сделать следующие выводы:

- применение пластификатора позволяет снизить количество пор на 20%;
- образцы из 6 отсека, находившиеся в зоне отрицательной температуры, имеют более 5% пор диаметром от четырех до девяти микрон, чем остальные образцы.

Литература

1. Несветаев Г.В. Бетоны: учебное пособие. – М.: Ростов н/Д: Феникс, 2011.- 381 с
2. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981-464 с.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона. Учебник. – М.: изд-во АСВ, 2003.-500с.;
4. Гныря А.И. Технология бетонных работ в зимних условиях. – Томск: изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. 412 с.;