Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 9 (48). 2016. 7-25

Construction of Unique Buildings and Structures

journal homepage: www.unistroy.spb.ru

Технологии зимнего бетонирования в России

П.А. Гнам[1], Р.К. Кивихарью[2]

[1,2] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 624.05	Подана в редакцию 09.04.2016	монолитные здания; зимнее бетонирование; прогрев бетона; электроэнергия; технологические процессы;

АННОТАЦИЯ

Целью данной статьи является показать современный уровень отечественных технологий зимнего бетонирования. Статья содержит обзор современных методов производства бетонных работ по строительству зданий и сооружений в зимнее время. Приведены особенности каждого метода, их преимущества и недостатки. Кроме того, рассмотрены плюсы и минусы применения технологии в целом, на основании сравнения энергоемкости и трудозатрат каждого метода. Приведено технико-экономическое сравнение видов зимнего бетонирования. Даны краткие рекомендации для курсового проектирования.

Содержание

1. Актуальность работы 8
2. Обзор литературы 8
3. Постановка цели и задачи исследования 8
4. Введение 8
5. Методы зимнего бетонирования 9
6. Сравнение технико-экономических показателей 15
7. Заключение 16

Контактный автор:
1. +7(911)8329417, polina_padfoot@mail.ru (Гнам Полина Александровна, студент)
2. +7(911)8329417, rockstarseverywhere@gmail.com (Кивихарью Рон Кари, студент)

1. Актуальность работы

Особенности климата России, которые обуславливаются ее географическим положением, оказывают значительное влияние на проведение строительных работ в холодный период года. Продолжительность зимнего периода для климатических условий средней полосы России составляет около 5-6 месяцев [1]. Поэтому использование только короткого летнего сезона для строительства было бы неразумным и расточительным [2]. Обращаясь к истории, исследования различных способов обеспечения твердения конструкций в зимних условиях начали проводиться в СССР еще с 1930-40х годов [3]. Однако еще совсем недавно проведение бетонирования зимой рассматривалась как невозможная строительная операция, грозящая негативными последствиями.

2. Обзор литературы

Основные этапы развития зимнего бетонирования в России приводит С.Г. Головнев. Он прослеживает пути развития основных методов зимнего бетонирования, а также вклад ученых и экспериментаторов во внедрение новых методов. В его работе отмечен решающий вклад российских ученых в развитие теории и методов зимнего бетонирования. [1].

К.М. Мозгалёв рассматривает бетонные конструкции, испытывающие интенсивные истирающие нагрузки в процессе эксплуатации, а так же вопрос применения в этих конструкциях бетонов и растворов на основе магнезиального вяжущего [2].

Об истории развития зимнего бетонирования в России, особенностях технологий производства и использования современных противоморозных добавок рассказывают участники организованного журналом «Технологии бетонов» круглого стола [3].

Л.А. Беркович в своей работе разрабатывает научно-методические положения организационно-технологического обеспечения процессов зимнего бетонирования применительно к монолитным конструкциям гражданских зданий [4].

С.Н. Золотухин и А.Н. Горюшкин классифицируют методы бетонирования при отрицательных температурах и разбирают технологии их производства.[5].

В своей работе Д.Г. Имайкин, Р.А. Ибрагимов, М.М. Мартынов и А.Р. Сунгатуллина представляют результаты исследований температурных и прочностных показателей конструкции при прогреве в термоактивной опалубке. Кроме того, они анализируют различные методы зимнего бетонирования [6].

Так как температура бетонной смеси в значительной мере зависит от температуры ее составляющих, их хранение и обеспечение заданных параметров при отрицательных температурах становится важнейшей задачей. Расчет допустимого температурного режима бетонной кладки из условия обеспечения ее трещиностойкости в своей работе приводит В.И. Телешев [7]. Анализ работ по исследованию влияния раннего замораживания на нарастание прочности бетона дан в статье А.Б. Тринкера, в которой так же представлены специальные методы зимнего бетонирования в условиях Крайнего Севера России [8].

Ю.А. Корытов выделяет способ нагрева проводами. В его трудах приведены преимущества этого метода по сравнению с другими. Он пишет, что принципиальное достоинство его в том, что нагрев происходит внутри бетона, что обуславливает его ускоренное твердение по сравнению с другими способами [9].

Значительный вклад в изучение особенностей зимнего бетонирования внесли следующие ученые А.И. Гныря, С.В. Коробков, Ю.С. Вытчиков, И.Г. Беляков и другие.

3. Постановка цели и задачи исследования

Цель – рассмотреть существующие в России виды зимнего бетонирования, указать их особенности и технологию производства работ. Сопоставить технико-экономические показатели и сделать выводы о наиболее эффективном варианте.

4. Введение

Бетон это искусственный каменный строительный материал, который получают после формования и затвердевания специально подобранной уплотнённой смеси, состоящей из цементного вяжущего вещества, крупных и мелких заполнителей, а так же воды [3]. В результате химических реакций, происходящих между водой и цементом, образуется цементный камень, скрепляющий зерна заполнителей, образуя монолитный камень. Соответственно, крайне важно не допустить замерзания воды, находящейся

внутри бетонной смеси, так как замерзание бетона в раннем возрасте влечет значительное снижение прочности вплоть до разрушения конструкции. Кроме того, для проведения монолитных работ требуется доставить бетонную смесь на объект, уложить в бортоснастку, затем осуществить обогрев и обеспечить набор прочности при положительной температуре до необходимой критической прочности.

Существенную роль в технологии зимнего монолитного бетона играют ряд факторов: характер бетонируемых конструкций, соотношение их геометрических размеров, принятая последовательность работ, климатические условия.

Наиболее распространенным решением пространственной несущей системы многоэтажного здания является монолитный или сборно-монолитный каркас. Сборно-монолитный каркас здания имеет плоские диски перекрытий, образованные традиционными многопустотными плитами и монолитными ригелями, скрытыми в их плоскостях. Колонны каркаса могут быть также монолитными. Распространенной, особенно в зарубежной практике, является система с поперечными несущими стенами и перекрытиями из монолитного бетона, образующими сотовый каркас, а также системы с ядрами (стволами) жесткости в центре здания, в которых расположены лифтовые шахты [4].

Применение монолитного бетона в возведении гражданских зданий и сооружений является одним из важнейших направлений развития современного строительства. Создание подобных объектов приводит к необходимости формирования новых, более эффективных архитектурно-строительных систем и технологий их реализации. За последние 10-15 лет в методах возведения зданий с монолитным железобетоном произошли революционные изменения не только в технологиях производства бетона, но и в способах укладки и утепления конструкций. Значительно увеличились темпы возведения таких зданий. И хотя существенным недостатком монолитного строительства всегда считались сложности в производстве работ при отрицательных температурах, то, благодаря проведенным исследованиям и накопленному за десятилетия производственному опыту, подобные «зимние» работы выполняются круглогодично [2].

Например, применение бетононасосов и автобетоносмесителей, индустриальных опалубочных форм и других передовых технологий значительно повысило темпы укладки бетонных смесей и сделало возможным сокращение риска замораживания бетона до начала тепловой обработки. В свою очередь, появление быстротвердеющих цементов и повышение их технических характеристик позволило оптимизировать применение как противоморозных добавок, так и режимов прогрева бетона. Кроме того, появились различные теплоизоляционные материалы, технологии предварительного электроразогрева бетонной смеси, греющие провода, термоопалубки и т.д. [4].

Существует огромное количество различных методов зимнего бетонирования как в отечественной, так и зарубежной практике. Такое многообразие обуславливает необходимость их классификации. Ряд авторов выделяет две группы методов: электротермообработка и беспрогревные методы [5].

Одним из наиболее эффективных способов бетонирования конструкций зимой является предварительный электроразогрев смеси. Тем не менее этот способ технически сложно реализуем. Способы прогрева конструкций «греющий провод» и электродный прогрев, которые также часто используются в строительстве, имеют как свои преимущества, так и недостатки. При большом выборе вариантов термообработки бетона, применяемой для различных конструктивных систем и условий внешней среды, в настоящее время наиболее распространен комбинированный метод. Это укладка греющего провода в колонны и перекрытия, конвективный обогрев замкнутых объемов. Имеются разработки по термообработке бетона в щитовой опалубке, оборудованной греющей системой (термоопалубке) [6].

5. Методы зимнего бетонирования

В зимний период приготовление бетона имеет свои особенности. Кроме обеспечения условий предотвращения трещинообразования, требуется обеспечить условие набора прочности. Это условие требует, чтобы бетонная смесь не замерзла до набора определенной прочности (40-50% от необходимой прочности), а для этого смесь должна иметь положительную температуру в течение всего этого периода. Температура бетонной смеси при его приготовлении зависит от температуры ее составляющих. Поскольку заполнители хранятся обычно на открытом воздухе (зимой будет иметь место промерзание), то есть требуется их подогрев. Величина подъема температуры определяется расчетом в зависимости от необходимой температуры на выходе из бетонного завода [7].

Выбор основных методов производства бетонных работ зимой зависит от множества различных факторов. Среди них основными являются назначение конструкции, массивность, способ укладки и температура окружающей среды, время на набор прочности. Однако, в условиях крайнего севера часто приходится учитывать и другие факторы (вид опалубки, наличие утеплителя, возможности применения химдобавок и т. д.).

При выборе метода нельзя пренебрегать и такими показателями, как трудозатраты, сроки производства работ, затраты на оборудование и материалы.

Для зимнего бетонирования используют специальные смеси высокого класса с химическими противоморозными и пластифицирующими добавками, утепляют свежеуложенный бетон различными способами: с применением генераторов горячего воздуха, тепловых труб с парами теплоносителя или электроэнергии [8].

Выбор того или иного метода зимнего бетонирования обусловливается рядом факторов:

1) «**термос»** – массивностью конструкции, низкой температурой воздуха, упрощенной технологией работ, а также наличием достаточного времени для набора прочности;

2) **бетонирование с химдобавками** – отсутствием энергии, достаточным временем для набора прочности, скоростью ветра, небольшой отрицательной температурой воздуха;

3) **электропрогрев** – геометрическими размерами, необходимостью интенсивного набора прочности.

Окончательный выбор метода производства бетонных работ в зимнее время должен быть подкреплен экономическими показателями [9].

5.1. Метод «термоса»

Метод термоса получил широкое применение еще на стройках СССР в 1930-х годах при производстве бетонных изделий и конструкций. Наиболее экономически выгодной областью применения данного метода в соответствии с указаниями СНиП 3.03.01-87 являются массивные монолитные фундаменты, блоки, плиты, стены, колонны, рамные конструкции. А так же при использовании быстротвердеющих портландцементов и эффективных теплоизоляционных материалов (особенно при умеренных морозах).

Технология выдерживания бетона, применяя метод термоса, состоит в следующем. Нагретую до температуры 25...45°С с помощью электродов бетонную смесь, доставляют на площадку и укладывают в опалубку. Сразу после окончания бетонных работ все открытые поверхности конструкции укрывают слоем теплоизоляционного материала, так как при большей температуре подогрева бетонная смесь во время транспортирования быстро загустевает. Бетон, изолированный от холодного воздуха, твердеет за счет тепла, внесенного в бетонную смесь при ее приготовлении, а также тепла, выделяемого в процессе экзотермической реакции твердения цементного теста.

Способ термоса целесообразно применять при бетонировании массивных конструкций. Для большей эффективности способа желательно использовать высокопрочные и быстро-твердеющие цементы, химические добавки и другие технологические мероприятия по ускорению твердения бетона.

Однако метод термоса не следует применять при бетонировании конструкций в условиях окружающей среды со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже +5°С, а минимальной – ниже 0 °С. И хотя температурные границы использования данного метода можно расширить за счет ряда дополнительных мероприятий (например повышения начальной температуры смеси, введение химических добавок и поверхностно-активных веществ), в целом это увеличит экономические затраты на производство. В некоторых случаях целесообразно сочетать метод термоса с электрообогревом конструкции по ее периметру. Также необходимо дополнительно утеплять элементы конструкций, остывающие быстрее, чем основная часть (углы, выступы, закладные детали, ребра), создавая этим самым одинаковые условия остывания всей конструкции [9].

Таким образом, на время остывания изделий и конструкций, выдерживаемых методом термоса, оказывает влияние целый ряд всевозможных факторов, таких как: размеры и формы конструкции, теплофизические характеристики бетона, вид цемента, температура наружного воздуха, скорость ветра, тип опалубки и т.д.

Преимущества метода термоса:

- низкая себестоимость;
- простой технологический процесс.

Недостатки метода термоса:

- неэффективность при особо низких температурах;
- не подходит для сложных конструкций;
- подходит только для конструкций с относительно маленькой площадью охлаждения.

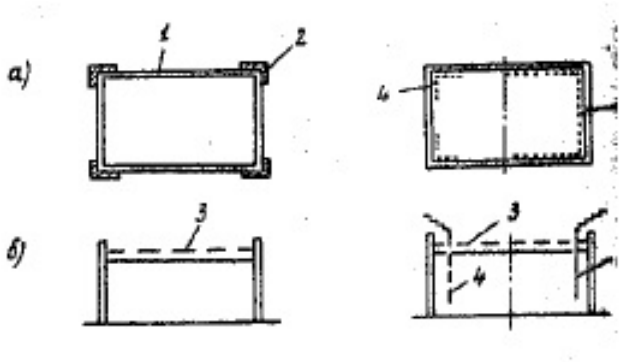

Рисунок 1. Дополнительные мероприятия по утеплению блоков методом «термоса»

а – планы;

б – разрезы.

1 – теплая опалубка; 2 – утепление углов; 3 – укрытие; 4 – электрообогрев углов [21].

5.2. Метод с использованием противоморозных добавок

Одним из методов производства бетонных работ в условиях с отрицательными температурами является применение бетонов с введением в них противоморозных добавок (ПМД). Так как при низких температурах вода, входящая в состав смеси начинает кристаллизоваться, бетон становится рыхлым и не может приобрести расчетную прочность. Добавки понижают температуру замерзания свободной жидкости и ускоряют твердение бетона при отрицательных температурах воздуха [3].

Бетоны с противоморозными добавками требуют меньшего расхода воды на единицу объема, чем обычные бетоны. Этим можно объяснить повышенную прочность и морозостойкость бетонов с добавками солей по сравнению с марочной прочностью. Соответственно и водоцементное отношение у бетонов с добавками солей меньше, чем у обычного (эталонного), изготовленного из равноконсистентных смесей.

Количество и вид противоморозной добавки назначается в зависимости от факторов окружающей среды, модуля поверхности, назначения бетонной смеси и с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей бетонируемых монолитных конструкций. Выбирая ПМД, следует учитывать ее специфические свойства и область применения. На данный момент в строительстве используются несколько сотен различных видов ПМД.

Обычно добавки в бетон вводят в момент его замешивания, так как в этом случае есть возможность добиться равномерного распределение реактивов по всему объему. Однако допускается и домешивание добавок непосредственно на объекте. В этом случае должны быть соблюдены соответствующие предписания. Если интенсивность набора прочности не соответствует проектным требованиям, то рекомендуется увеличить расчетную температуру твердения за счет утепления бетонируемой конструкции.

Необходимо также пристально следить за количеством вводимой противоморозной добавки, так как ее оптимальность имеет важное значение. Недостаточное количество может привести к преждевременному замерзанию, которое в раннем возрасте бетона отрицательно сказывается на конечной прочности и, как правило, приводит к необратимым деструктивным процессам. А избыточное – к замедлению твердения. Поэтому при несоответствии темпа твердения бетона графику производства работ обычно применяют сочетание метода с добавлением ПМД с методом термоса за счет утепления конструкций, а также с электропрогревом смеси. Кроме того, необходимо исходить из расчетной температуры твердения, которая бы обеспечила набор прочности бетона, не менее критической до замерзания.

Преимущества противоморозных добавок:

- низкая стоимость материалов;
- отсутствие специального дорогостоящего оборудования;
- низкие трудозатраты;
- простота реализации;

Недостатки противоморозных добавок:

- увеличение времени достижения бетоном его расчетной прочности;
- понижение коррозийной стойкости арматуры (для хлоридных добавок).

5.3. Методы искусственного электрообогрева

Суть методов искусственного прогрева заключается в том, чтобы повысить температуру уложенного бетона до максимума с последующим поддержанием ее в течение некоторого времени. За это время уложенный бетон набирает критическую или расчетную прочность. Искусственный прогрев представляет собой группу методов, каждый из которых основан на использовании электрической энергии от некоторого источника, и переводе этой энергии в тепловую. За счет пропускания электрического тока через бетон или при подводу тепла к бетону с помощью различных нагревательных устройств, происходит повышение температуры. Разнообразие методов искусственного прогрева позволяет в каждом конкретном случае (в зависимости от массивности конструкции, условий окружающей среды, назначения конструкции и т. д.) выбирать наиболее эффективный.

Методы искусственного прогрева бетонных и железобетонных конструкций можно классифицировать следующим образом:

1) электродный прогрев;

2) обогрев различными электронагревательными устройствами;

3) нагрев в электромагнитном поле;

4) инфракрасный обогрев.

Применение искусственного прогрева помогает добиться заданных физико-механических свойств бетонов, существенно не отличающихся от свойств бетонов, твердеющих в нормальных условиях. Одновременно он требует от инженерно-технических работников знаний электрофизических и теплофизических процессов, протекающих в бетоне. Только в этом случае искусственный прогрев может быть эффективен и экономичен по сравнению с другими методами.

Производство работ с искусственным прогревом бетона должно вестись в соответствии с разработанным проектом, в котором содержатся: указания по выбору электрооборудования, схемы установки электродов (стержневых, полосовых, пластинчатых, струнных, нашивных и т.д.), указания по установке электронагревательных элементов (инфракрасных и низкотемпературных), схемы подводки электропитания с подключением электродов или электронагревателей.

5.3.1. Электродный прогрев

Одним из наиболее эффективных методов зимнего бетонирования считается электродный прогрев. Прогрев бетона с помощью электродов сохраняет необходимые параметры твердения раствора при заливке в зимний период. Этот способ подразумевает введение в бетон или размещение на его поверхности электродов (стержневых, полосовых, струнных, пластинчатых), которые затем подключают к трансформатору. В результате образуется электрическое поле, которое согревает бетон, а не окружающую среду. Подбирая и регулируя выходные параметры трансформатора, можно добиться необходимой температуры прогрева бетона.

Вяжущие и заполнители, входящие в состав бетона, в сухом состоянии обладают высоким сопротивлением. Вода же является составляющей, которая резко понижает сопротивление бетона. Поэтому свежеуложенный бетон является хорошим проводником, и электрический ток, проходя через него, быстро разогревает смесь.

Однако, несмотря на ряд положительных особенностей этого метода, большую сложность представляет управление электродным прогревом. Важно помнить, что удельное электрическое сопротивление бетона меняется по мере его выдерживания. Этот процесс не является линейным и экспериментальные исследования величины этого показателя для бетонов отсутствуют [9].

Преимущества прогрева электродами:

- высокая тепловая эффективность метода;
- надежность и простота монтажа;
- прогрев конструкций любой толщины и любой формы.

Недостатки прогрева электродами:

- значительное время для подготовки (в том числе дополнительные электрохимические расчеты);
- дополнительное оборудование (трансформаторы);
- высокие энергозатраты (от 1000 кВт для 3—5 куб.м бетонной смеси);
- потребность в большем количестве квалифицированных рабочих кадров.

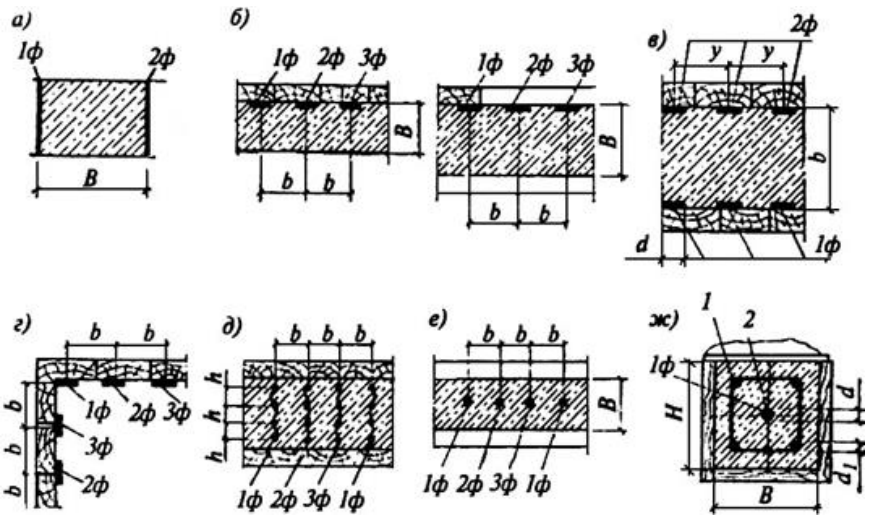

Рисунок 2. Схемы размещения электродов

а) пластинчатых;
б) при периферийном прогреве;
в) при двухстороннем сквозном прогреве;
г) при периферийном прогреве массивных конструкций полосовыми электродами;
д) при прогреве при помощи плоских групп стержневых электродов;
е) при прогреве стержневыми электродами;
ж) при прогреве струнными электродами;

1ф, 2ф, 3ф – фазы понижающего трансформатора; 1 – арматура; 2 – струны [21].

5.3.2. Обогрев греющими проводами

Особое положение среди известных методов обогрева бетона занимает метод греющего провода. Данный метод является универсальной технологией термоизоляции бетона при отрицательных температурах, нашедшей широкое применение при возведении монолитных многоэтажных жилых зданий, с прогревом стен, перекрытий, колон и фундамента. Прогрев греющими проводами происходит изнутри конструкции - кондуктивно, так как источник тепла (провод) укладывается непосредственно внутрь бетонируемой конструкции. После заливки бетона по проводу пускается электрический ток определенных параметров для нагрева смеси изнутри. Кабель не демонтируется и остается внутри конструкции навсегда. В этом состоит большое преимущество данного способа, поскольку, в отличие от всех подобных методов, когда тепло от источника подводится к конструкции извне и осуществляет нагрев с поверхности, используя греющий провод, все тепло передается бетону [9].

Для прогрева бетона в конструкциях применяются специально выпускаемые для этой цели нагревательные провода с диаметром жилы (стальная проволока в пластиковой изоляции) от 1,2 до 3 мм. В качестве греющих изолированных проводов могут использоваться как металлические одножильные и двухжильные, так и неметаллические полимерные провода. Уникальность таких проводов состоит в их токопроводящей жиле на композиционной основе, которая обеспечивает более интенсивный нагрев провода в сравнении с металлическими аналогами [10].

Греющий провод подходит для прогрева любых бетонных конструкций, независимо от характера их армирования и конфигурации. Так как обычно такие провода нарезают на отрезки определенной длины и подключают через понижающий трансформатор, или используют провода расчетной длины, которые работают от сети 220В. Однако крайне важно при этом произвести правильные расчеты и контролировать регулировку подаваемого напряжения (силу тока), чтобы избежать перегрева или перегорания проводов. Также важно вовремя предотвращать любые механические повреждения изоляции при установке и креплении проводов, укладке бетона, устройства опалубки. Соблюдение этих требований является основой всего метода.

Обогрев греющими проводами монолитных конструкций и омоноличиваемых стыков и швов легко совмещается с прочими способами обеспечения твердения бетона: использование различных видов воздушного прогрева, термоактивной опалубки и т.д.

Преимущества прогрева проводом:

- низкая стоимость;
- высокая тепловая эффективность метода;

Недостатки прогрева проводом:

- невозможность повторного использования провода;
- потребность в большом количестве дополнительного оборудования (понижающий трансформатор, средства тепловой защиты, магистральные кабели и т.д.);
- трудоемкость укладки.

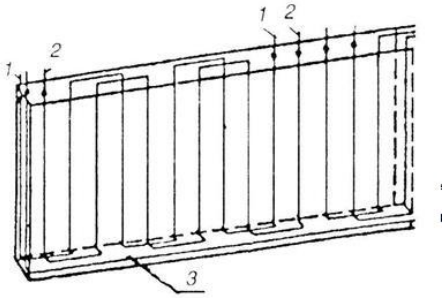

Рисунок 3. Схема установки греющего провода в конструкции

1 , 2 – греющие провода; 3 – запасной провод [21].

5.3.3. Нагрев в электромагнитном поле

Метод индукционного нагрева применяется в основном для тепловой обработки длинномерных конструкций, таких как колонны, трубы, ЛЭП, сваи и прочие, обладающие небольшим переменным сечением. Для ускорения набора железобетоном необходимой прочности при отрицательных температурах применяют технологию индукционного прогрева. Кроме того, применение этой технологии возможно лишь для армированных конструкций, содержащих внутри себя металлические элементы, которые будут являться сердечником. Этот метод применяется в построечных и заводских условиях.

Технология основана на принципе электродинамики – магнитной индукции. Вокруг залитого бетонного элемента размещают петлями изолированный кабель, выполняющий роль катушки-индуктора, которая включена в цепь переменного электрического тока. В результате этого в конструкции образуется электромагнитное поле. тепловая энергия которого нагревает внутренние армирующие элементы конструкции, от которых тепло распространяется по всему бетону.

Интенсивность тепловыделения источников тепла определяется исключительно электрическими и магнитными свойствами источника и напряженностью магнитного поля, и никак не зависит от собственных свойств бетона. Для того, чтобы получить электромагнитные поля с большими периметрами, используют многовитковые индукторы из хорошо проводящего материала.

Расчет индукционного прогрева состоит в определении количества витков индуктора, требуемого для создания расчетного напряжения магнитного поля, причем такого, чтобы обеспечивалась мощность, необходимая для прогрева бетона конструкций по заданному режиму [11].

Преимущества индукционного прогрева:

- низкая стоимость;
- равномерность прогрева;
- отсутствие дополнительного оборудования.

Недостатки индукционного прогрева:

- проведение множества сложных расчетов для каждой конструкции;
- возможность применения на ограниченном типе конструкций.

5.3.4. Инфракрасный обогрев

Одним из способов сохранить заданную температуру бетона является воздействие на него инфракрасным излучением, которое имеет свойство поглощаться телами и трансформироваться в тепловую энергию. Инфракрасные лучи являются составной частью спектра электромагнитных волн, распространяющихся в пространстве с определенной частотой и длиной. Скорость их распределения в вакууме равна универсальной константе с = 2,988 108 м/с.

При использовании данного метода источники энергии (промышленные инфракрасные обогреватели) располагают в непосредственной близости от конструкции. Тепло от источника инфракрасных лучей к залитому элементу передается мгновенно. Затем тело прогревается за счет собственной теплопроводности. Важно правильно отрегулировать мощность установок, чтобы добиться необходимой температуры в бетоне. В этом случае свободная вода не будет кристаллизоваться. В противном же случае возможно разрушение всей конструкции.

Для электротермообработки бетона, в основном, используются ТЭНы мощностью до нескольких сотен кВт, с температурой излучающей поверхности от 600 до 2500 К. Они относятся к серым излучающим телам. Покрыв опалубку черным цветом, можно повысить эффективность прогрева за счет увеличения ее поглощающих возможностей. В настоящее время отечественная промышленность выпускает в основном три группы излучателей: металлические трубчатые (ТЭНы), кварцевые и карборундовые стержневые.

Однако данный метод не подходит для конструкций, толщина бетона в которых превышает 50-70см. В этом случае в дополнение к инфракрасному обогреву необходимо использовать и другие методы зимнего бетонирования.

Преимущества инфракрасного прогрева:

- установки работают от сетей с небольшими напряжениями (малые энергозатраты);
- отсутствие дополнительного оборудования;
- высокая тепловая эффективность метода.

Недостатки инфракрасного прогрева:

- относительно небольшая рабочая площадь и глубина прогрева одного излучателя;
- необходимость размещения установок (дополнительное пространство).

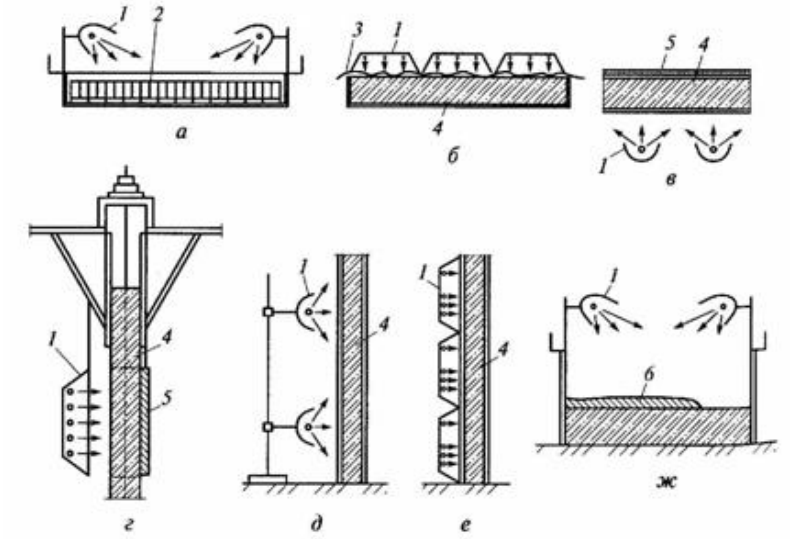

Рисунок 4. Схемы инфракрасного нагрева

а – обогрев арматуры плиты;

б, в – термообработка бетона плиты (сверху и снизу);

г – локальная термообработка бетона при возведении высотных сооружений в скользящей опалубке;

д, е – термообработка бетона стен;

ж – тепловая защита укладываемой бетонной смеси.

1 – инфракрасная установка; 2 – арматура плиты; 3 – синтетическая пленка; 4 – термообрабатываемый бетон; 5 –теплоизолирующий мат; 6 – укладываемая бетонная смесь [21].

6. Сравнение технико-экономических показателей

Выбор метода выдерживания бетона до его замораживания зависит от температуры наружного воздуха, наличия добавок в бетоне, вида цемента, габаритов и назначения конструкции. Также необходимо учитывать экономичность, простоту и быстроту выполнения бетонных работ.

В табл. 1 приведено сравнение различных методов зимнего бетонирования. В качестве показателей выбраны трудозатраты (чел. час) и расход электроэнергии (кВтч), определяющий энергоемкость метода, которая является фактором, лимитирующим темпы бетонных работ.

Таблица 1. Технико-экономические показатели

Название метода / Единица измерения	Затраты труда	Расход электроэнергии
	чел. час	кВт × ч
Метод «термоса»	0,9	54 (50-80)
Использование противоморозных добавок	0,13	-
Электродный прогрев	3,03	76,5 (80-120)
Электрообогрев нагревательными проводами	4,07	76 (80-110)
Индукционный прогрев	22,5	263 (120-180)
Инфракрасный обогрев	5,25	228,2 (120-200)

Значения технико-экономических параметров на 1 м^3 бетона приняты согласно комплекту технологических карт на производство монолитных бетонных работ при отрицательных температурах воздуха, введенных в действие Распоряжением Управления развития Генплана № 6 от 07.04.98 [24-29]. Значения в скобках приведены согласно более современным источникам [9,12].

В результате сравнения различных методов зимнего бетонирования по трудозатратам и расходу электроэнергии можно сделать вывод, что наиболее эффективным является метод «термоса». Кроме того, именно эта технология среди всех рассмотренных ранее является наиболее простой и экономичной в использовании. Для зимнего бетонирования конструкций в районах, не принадлежащих к районам крайнего севера, данный метод всегда рассматривается в первую очередь. Однако, если температура наружного воздуха слишком низкая, или бетон не успевает набрать свою прочность в заданный срок, используют либо один из альтернативных методов, либо комбинированный метод «термоса» с введением противоморозных добавок. Так как использование ПМД не требует дополнительных затрат на электроэнергию и рабочую силу.

7. Заключение

Развитие технологий зимнего бетонирования является залогом повышения эффективности и надежности бетонных работ в зимние периоды года. Одно из основных условий зимнего бетонирования — это мягкий режим прогрева, под которым подразумевают медленный подъем температуры (не более 10–15 °С/час), препятствующий негативным изменениям в структуре бетона, в зависимости от модуля поверхности конструкции. Однако одним прогревом бетона за счет различных устройств или утеплителей не всегда можно достичь требуемых результатов, особенно с учетом роста тарифов на электроэнергию. Оптимальным решением в данном случае будет использование противоморозных добавок. Их применение способствует понижению температуры замерзания воды в бетонной смеси, что обеспечивает проведение бетонных работ и твердение бетона даже при отрицательных температурах, а достижение критической прочности в более короткие сроки.

В результате проведенного исследования наиболее распространенных в России методов выдерживания бетона до его замораживания, а также опыта проектирования и строительства советских и российских ученых и инженеров-строителей сделаны следующие выводы:

1. На сегодняшний день существует множество проработанных методов строительства бетонных и железобетонных сооружений в зимних условиях при температурах вплоть до -25…35 °С.

2. Даны основные характеристики современных отечественных видов зимнего бетонирования, с указанием их основных преимуществ и недостатков.

3. Приведены краткие рекомендации по выбору метода зимнего бетонирования в зависимости от особенностей конструкций зданий и сооружений, необходимого времени для набора прочности бетоном, возможностей электроснабжения.

4. Технико-экономическое сравнение указывает на преимущество метода «термоса». Однако сопоставление плюсов и минусов каждой технологии показывает, что более перспективным является использование комбинированных методов с противоморозными добавками.

5. Рекомендуется к использованию в курсовом и дипломном проектировании, а также в строительных организациях.

Литература

[1]. Головнев С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов // изд-во ЮУРГУ. 1999. С. 148.

[2]. Мозгалёв К.М. Интенсификация технологических процессов зимнего бетонирования монолитных зданий // ФГБОУ ВПО «Южно-уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет). С. 130-133.

[3]. Круглый стол. Зимнее бетонирование: современный рынок противоморозных добавок – состояние и перспективы // Технологии бетонов. 2011. № 11-12. С. 10-20.

[4]. Беркович Л.А. Организационно-технологическоеобеспечение процессов зимнего бетонирования гражданских зданий. Автореферат // Издательство рекламного агентства «Каре», библиотека ЮУРГУ. 2007.

[5]. Золотухин С.Н., Горюшкин А.Н. Бетонирование при отрицательных температурах // Научный вестник ВГАСУ. Материалы 15-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология». 2012. С. 81-85.

[6]. Имайкин Д.Г., Ибрагимов Р.А., Мартынов М.М., Сунгатуллина А.Р. Технология зимнего бетонирования строительных конструкций с применением термоактивной опалубки // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17, №24. С. 96-98.

[7]. Телешев В.И. Расчет допустимого температурного режима бетонной кладки из условия обеспечения ее трещиностойкости (методические указания) // ЛЛИ. 1985. С. 37.

[8]. Тринкер А.Б. Зимнее бетонирование и работы в условиях вечной мерзлоты // Технологии бетонов. 2013. №2. С. 42-44.

[9]. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2003.

[10]. Корытов Ю.А. Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов // Механизация строительства. 2010. № 3. С. 14-20.

[11]. Красновский Б.М. Инженерно-физические основы методов зимнего бетонирования // изд-во Гасис. 2004. С. 470.

[12]. Крылов Б.А. Электропрогрев и электрообогрев бетона. М.: стройиздат. 1975. С. 264.

[13]. Шувалов Н.А., Байбурин А.Х. Исследование отклонений технологических параметров зимнего бетонирования (на примере монолитных конструкций колонн) // Вестник ЮУРГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2013. С.18-20.

[14]. ГОСТ 26663-85. Бетон тяжелый, технические условия.

[15]. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология.

[16]. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции.

[17]. Руденко Д.В. Методы расчета параметров прогрева бетона при помощи греющих проводов // ПБГАСУ. 2007. С. 11.

[18]. Толочная Е.Б., Титов М.М. Численное моделирование теплофизических процессов в технологии зимнего бетонирования сборно-монолитного каркаса здания // известия вузов. Строительство. 2012. №11-12. С. 54-61.

[19]. Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г., Нохрина Е.Н. Исследование теплового режима обогрева бетонных конструкций при зимнем бетонировании // Естественные науки и техносферная безопасность. Сборник статей по материалам 72-й Всероссийской научно-технической конференции. 2015. С. 171-177.

[20]. Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г. Расчет теплового режима обогрева бетонных конструкций // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 62-й всероссийской научно–технической конференции и итогам НИР СГАСУ за 2004г.

[21]. Красовский П.С. Технология конструкционных материалов. //Хабаровск.: Изд-во ДВГУПС, 2012. С. 220.

[22]. Рекомендации по электрообогреву монолитного бетона и железобетона нагревательными проводами // ЦНИИОМТП Госстроя СССР. 1989.

[23]. Головнев С.Г. Зимнее бетонирование: этапы становления и развития // Вестник ВолгГАСУ. Серия «Строительство и архитектура». 2013. № 31(50) ч. 2. С. 529-534.

[24]. Технологическая карта на выдерживание бетона методом "термоса" и использование разогретых бетонных смесей. М.: ОАО ПКТИпромстрой, 1998.

[25]. Технологическая карта на бетонирование монолитных конструкций с использованием противоморозных добавок. М.: ОАО ПКТИпромстрой, 1998.

[26]. Технологическая карта на электродный прогрев конструкций из монолитного бетона. М.: ОАО ПКТИпромстрой, 1998.

[27]. Технологическая карта на индукционный прогрев монолитных конструкций. М.: ОАО ПКТИпромстрой, 1998.

[28]. Технологическая карта по инфракрасному обогреву монолитных конструкций. М.: ОАО ПКТИпромстрой, 1998.

[29]. Технологическая карта на электрообогрев нагревательными проводами монолитных конструкций. М.: ОАО ПКТИпромстрой, 2003.

[30]. Стрельникова К.А., Потапов С.А., Пешкова Д.А. Современные технологии в строительной индустрии // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2013. №3. С. 250-256.

[31]. Гнездилова О.А. Строительная теплофизика. Учебное пособие // Закрытое акционерное общество "Университетская книга" (Курск). 2015.

[32]. Рубанов, А.В. Технология строительного производства в зимних условиях // Изд-во ТГАСУ. 2008. С. 145.

[33]. Власов В.А., Малиновская Т.Д., Мелентьев С.В. Использование нанокомпозиционного токопроводящего покрытия в конструкции нагревательного элемента термоактивной опалубки // Материалы Первой Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. 2013. С. 377-379

[34]. Гайдаенко Е.Е., ОвчинниковаТ.С. Опалубочные системы в монолитном домостроении // Вологдинские чтения. 2004. №38. С. 194-196.

[35]. Суходоева Н.В., Бабицкий В.В. Методика проектирования состава бетона // Вестник белорусско-российского университета. 2009. №2. С. 167-176.

[36]. Сторк Ю. Теория состава бетонной смеси // Стройиздат. 1971. С. 238.

[37]. Ушеров-Маршак, А. В. Информаци- онная технология бетона ускоренного твердения // Бетон и железобетон. 1994. № 6. С. 2–4.

[38]. Мартынов М.М., Ибрагимов Р.А., Изотов В.С. Термоактивная опалубка и ее конструкция // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2013. №3. С. 142-146.

[39]. Никоноров С. В., Байбурин А. Х., Кнутарева Н.В. Методика расчета технологических параметров метода «термоса», обеспечивающая гарантированный набор прочности бетона // Вестник южно-уральского государственного университета. 2005. № 13(53). С. 79-80.

[40]. Новиков С.О. Основные направления повышения эффективности возведения зданий из монолитного железобетона // Актуальные вопросы современной техники и технологии. Сборник докладов XXI-й международной научной конференции. 2015. С. 63-66.

[41]. Побежимова А.С., Рай А.Ю. Применение винтовых свай в условиях вечной мерзлоты // Современные проблемы промышленного и гражданского строительства. Материалы международной научно-практической конференции. Институт промышленного и гражданского строительства. 2014. С. 138-139.

[42]. Галузин В. М., Комаринский М. В., Телешев В. И. Выбор машин и оборудования для производства бетонных работ. СПб. 1995. С. 80.

[43]. Белецкий Б. Ф. Технология и механизация строительного производства. // Изд-во Феникс, 2004. С. 752.

[44]. Маилян Л. Р. Справочник современного строителя. // Ростов н/Д.: Изд-во Феникс. 2005. С. 540.

[45]. Телешев В. И., Комаринский М. В., Данилов В. М., Рыжов В. А. Исследования и опыт применения бетононасосного транспорта на строительстве Шульбинской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1990. №10. С. 38-43.

[46]. Речинский А. В., Стрелец К. И. Повышение квалификации по проектированию и строительству особо опасных, технически сложных и уникальных объектов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 1. С. 73-75.

[47]. Булатов Г. Я. Обобщенные критерии оптимального выбора технологий и машин // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 1. С. 32-39.

[48]. Горшков А. С., Ватин Н. И. Инновационная технология возведения стеновых конструкций из газобетонных блоков на полиуретановый клей // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 5. С. 5-19.

[49]. Афанасьев А. А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона. М.: Стройиздат. 1990. С. 380.

[50]. Афанасьев А. А., Матвеев Е. П., Минаков Ю. А. Технологическая эффективность ускоренных методов твердения бетонов в монолитном домостроении // Промышленное и гражданское строительство. 1997. № 8. С. 36-37.

[51]. Баженов, Ю. М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ. 2011. С. 524.

[52]. Галумян, А. В. Организационно-технологическая модель скоростного строительства жилых зданий из монолитного железобетона // Автореф. дис. ... канд. техн. Наук - М. 2010. С. 21.

[53]. Николаев С. В. Сборный железобетон. Выбор технологических решений. М.: Стройиздат. 1978. С. 239.

[54]. Головнев С. Г. Современные строительные технологии // Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. 2010. С. 268.

[55]. Барабанщиков Ю. Г., Комаринский М. В. Суперпластификатор С-3 и его влияние на технологические свойства бетонных смесей // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6(21). С. 58-69.

[56]. Комаринский М. В. Производительность поршневого бетононасоса // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 6(11). С. 43-49.

[57]. Комаринский М. В. Возведение ж/б гидротехнических сооружений с применением бетононасосной технологии [Текст] / Автореф. на соиск. учен. степ. к. т. н. / М.В. Комаринский. - СПб. 1989. С. 16.

[58]. Комаринский М.В., Телешев В.И. Программный комплекс "calgraph" по расчету и эвристической оптимизации линейных календарных планов гидростроительства на ПЭВМ // Учебное пособие. Санкт-Петербург, 1997. С. 55.

[59]. Телешев В. И., Данилов В. М., Комаринский М. В. Перспективы применения бетононасосного транспорта в гидротехническом строительстве // Гидротехническое строительство. 1986. № 6. С. 34-38.

[60]. Малиновская Л. В. Об основных принципах обеспечения качества строительства. Международный опыт // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 1. С. 55-56.

[61]. Горчаков Г. И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. М.: Высш. школа, 1986. С. 686.

[62]. Давидюк А. Н., Несветаев Г. В. Эффективные бетоны для современного высотного строительства .М.: НИПКЦ-А, 2010. С. 144.

[63]. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Кардумян Г. С. Новые модифицированные бетоны. М.: Пред-тие Мастер Бетон, 2010. С. 258.

[64]. МДС 12-48.2009. Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов // ОАО «ЦПП». – М: 2009.

[65]. Колчеданцев Л. М. Интенсификация бетонных работ в условиях массового строительства // Бетон и железобетон. 1994. № 6. С. 18-21.

[66]. Колчеданцев Л. М. Способ интенсификации бетонных работ и средство управлением структурообразованием бетона // Строительные материалы. 1998. № 2. С. 14-16.

[67]. Колчеданцев Л. М. Интенсифицированная технология бетонирования среднемассивных конструкций // Монтажные и специальные работы в строительстве. 1998. № 4. С. 7-11.

[68]. Крылов Б.А., Пижов А.И. Тепловая обработка бетона в греющей опалубке с сетчатыми электронагревателями. М.: Стройиздат. 1975. С. 52.

[69]. Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лапидус. Технология возведения зданий и сооружений. М.: Высшая школа. 2006. С. 446

[70]. Вытчиков Ю.С., Глухов Б.А. Расчет температурных полей в бетон- ных конструкциях при обогреве в греющих опалубках // Моделирование и оптимизация процессов теплообмена в теплоэнергетике // КПтИ. 1985.

[71]. Миронов С.А., Малинина Л.А. Ускорение твердения бетона // Москва, Стройиздат. 1967.

[72]. Москвин В.М. Деформации цементного камня, раствора и крупного заполнителя при раннем замораживании бетона // Бетон и железобетон. 1969. № 12.

[73]. Мчедлов-Петросян О.П., Ушеров-Маршак А.В., Чернявский В.Л. Структурообразование цементных бетонов при замораживании // сб. «Совершенствование методов бетонирования монолитных конструкций зданий и сооружений, в том числе в зимний период», Красноярск. 1967.

[74]. Тринкер Б.Д. Бетонирование крепи шахтных стволов, пройденных по замороженным породам // Шахтное строительство. № 3. 1962. С. 7-10.

[75]. Тринкер Б.Д. Опыт подводного бетонирования свай методом ВПТ в условиях Крайнего Севера // Транспортное строительство. 1971. № 2. С. 17-18.

[76]. Тринкер Б.Д. Вопрос влияния раннего замораживания на последующее нарастание прочности бетона после оттаивания // RILEM, 2-й Международный симпозиум по зимнему бетонированию. Генеральные доклады, М.: Стройиздат. 1978. С. 239-241.

[77]. Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса // НИИЖБ, М.: Стройиздат. 1976. С. 1-194.

[78]. Тринкер А.Б. От минус 40 до плюс 50 градусов Цельсия // Технологии бетонов. 2012. № 1-2. С. 28-31.

[79]. R. S. Ghosh, J. N. Mustard Winter concreting in Canada // Canadian journal of civil engineering. 2011. №10(3). 510-526 p.

[80]. R. S. Ghosh, J. N. Mustard Insulated Forms and Thermal Shock in Winter Concreting // Canadian journal of civil engineering. 2011. №2(4). 454-465 p.

[81]. T. Kowatari, H. Ishikawa, T. Tanno, K. Madokoro Construction of Mass Concrete and Winter Concreting on Foundation of Bridge // Concrete Journal. 1988. № 26(12). 22-29 p.

[82]. R. G. Turenne, P. J. Sereda Winter Concreting - Canadian Practice // Second Intcrnational RILEM Symposium on Winter Concreting. 1975.

[83]. G. Suazo, A. Fourie, J. Doherty Experimental Study of the Evolution of the Soil Water Retention Curve for Granular Material Undergoing Cement Hydration // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2016.

[84]. S. Papatzani Effect of nanosilica and montmorillonite nanoclay particles on cement hydration and microstructure // Materials Science and Technology. 2016.

[85]. A. Sarja Development of quality assurance for winter concreting // Third International RILEM Symposium on Winter Concreting. 1985. 288 – 307 p.

[86]. T. Foley, C. Schexnayder Placing Winter Concrete: Pearl Harbor Memorial Bridge // Practice periodical on structural design and construction. 2014. № 20(3).

[87]. L. A. Barna, P.M. Seman, C.J. Corhonen Cold Weather Admixture Systems Demonstration at Fort Wainwright, Alaska // ERDC/CRREL TR-10-6. 2010.

[88]. J. Ni, J. Wen-chieh Cheng, L. Ge Assessment of concrete maturity and overturning mechanism of primary diaphragm walls in very soft clay during cold winter // KSCE Journal of Civil Engineering. 2010.

[89]. B. M. Erakhtin Theoretical basis of designing concrete dams with consideration of construction operations // Hydrotechnical construction. 1998. № 32(2). 82-88 p.

[90]. L. Kivekäs, M. Leivo Research and use of antifreeze admixtures in Finland // Third International RILEM Symposium on Winter Concreting. 1985. 208 – 222 p.

[91]. M.Taniguchi, O. Katsura, Y. Hama A proposal of temperature-time function on the strength development of concrete under sub-zero temperature // Journal of structural and construction engineering. 2009. №74(640). 995-1003 p.

[92]. Z. Bai, Y. Dong, Z. Wang, T. Zhu Emission of ammonia from indoor concrete wall and assessment of human exposure // Environment international. 2006. № 32(3). 303 p.

[93]. Zhu, Bofang Thermal stresses and temperature control of mass concrete // Kidlington, Oxford : Butterworth-Heinemann. 2014.

Technologies of winter concreting in Russia

P.A. Gnam[1], R.K. Kiviharju[2]

[1,2] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO	Articlehistory	Keywords
overview article **doi:**	Received 09.04.2016	buildings; winter concreting; concrete heating; electric power; technological processes;

ABSTRACT

Knowledge and development of winter concreting technologies is necessary for building construction in Russia due to its climate conditions. This article contains an overview of the modern domestic methods of cold weather concreting. Such methods as thermos method, low temperature concrete admixture, electrode heating, heat tracing wires, electromagnetic and infrared heating, their features and advantages and disadvantages are mentioned. The technical and economic comparison, based on energy intensity and labor costs of each method indicators, is presented as well. The most suitable method is chosen. Given short recommendations for the course projects.

Corresponding author:
1. +7(911)8329417, polina_padfoot@mail.ru (Polina Gnam, Student)
2. +7(911)8329417, rockstarseverywhere@gmail.com (Ron Kari Kiviharju, Student)

References

[1]. Golovnev S.G. Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov // izd-vo YuURGU. 1999. S. 148.

[2]. Mozgalev K.M. Intensifikatsiya tekhnologicheskikh protsessov zimnego betonirovaniya monolitnykh zdaniy // FGBOU VPO «Yuzhno-uralskiy gosudarstvennyy universitet» (natsionalnyy issledovatelskiy universitet). S. 130- 133.

[3]. Kruglyy stol. Zimneye betonirovaniye: sovremennyy rynok protivomoroznykh dobavok – sostoyaniye i perspektivy // Tekhnologii betonov. 2011. № 11-12. S. 10-20.

[4]. Berkovich L.A. Organizatsionno-tekhnologicheskoyeobespecheniye protsessov zimnego betonirovaniya grazhdanskikh zdaniy. Avtoreferat // Izdatelstvo reklamnogo agentstva «Kare», biblioteka YuURGU. 2007.

[5]. Zolotukhin S.N., Goryushkin A.N. Betonirovaniye pri otritsatelnykh temperaturakh // Nauchnyy vestnik VGASU. Materialy 15-oy mezhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Vysokiye tekhnologii. Ekologiya». 2012. S. 81-85.

[6]. Imaykin D.G., Ibragimov R.A., Martynov M.M., Sungatullina A.R. Tekhnologiya zimnego betonirovaniya stroitelnykh konstruktsiy s primeneniyem termoaktivnoy opalubki // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T.17, №24. S. 96-98.

[7]. Teleshev V.I. Raschet dopustimogo temperaturnogo rezhima betonnoy kladki iz usloviya obespecheniya yeye treshchinostoykosti (metodicheskiye ukazaniya) // LLI. 1985. S. 37.

[8]. Trinker A.B. Zimneye betonirovaniye i raboty v usloviyakh vechnoy merzloty // Tekhnologii betonov. 2013. №2. S. 42-44.

[9]. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona. M.: Izd-vo ASV, 2003.

[10]. Korytov Yu.A. Zimneye betonirovaniye s primeneniyem nagrevatelnykh provodov // Mekhanizatsiya stroitelstva. 2010. № 3. S. 14-20.

[11]. Krasnovskiy B.M. Inzhenerno-fizicheskiye osnovy metodov zimnego betonirovaniya // izd-vo Gasis. 2004. S. 470.

[12]. Krylov B.A. Elektroprogrev i elektroobogrev betona. M.: stroyizdat. 1975. S. 264.

[13]. Shuvalov N.A., Bayburin A.Kh. Issledovaniye otkloneniy tekhnologicheskikh parametrov zimnego betonirovaniya (na primere monolitnykh konstruktsiy kolonn) // Vestnik YuURGU. Seriya «Stroitelstvo i arkhitektura». 2013. S. 18-20.

[14]. GOST 26663-85. Beton tyazhelyy, tekhnicheskiye usloviya.

[15]. SNiP 2.01.01-82. Stroitelnaya klimatologiya.

[16]. SNiP 3.03.01-87. Nesushchiye i ograzhdayushchiye konstruktsii.

[17]. Rudenko D.V. Metody rascheta parametrov progreva betona pri pomoshchi greyushchikh provodov // PBGASU. 2007. S. 11.

[18]. Tolochnaya Ye.B., Titov M.M. Chislennoye modelirovaniye teplofizicheskikh protsessov v tekhnologii zimnego betonirovaniya sborno-monolitnogo karkasa zdaniya // izvestiya vuzov. Stroitelstvo. 2012. №11-12. S. 54-61.

[19]. Vytchikov Yu.S., Belyakov I.G., Nokhrina Ye.N. Issledovaniye teplovogo rezhima obogreva betonnykh konstruktsiy pri zimnem betonirovanii // Yestestvennyye nauki i tekhnosfernaya bezopasnost. Sbornik statey po materialam 72-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. 2015. S. 171-177.

[20]. Vytchikov Yu.S., Belyakov I.G. Raschet teplovogo rezhima obogreva betonnykh konstruktsiy // Aktualnyye problemy v stroitelstve i arkhitekture. Obrazovaniye. Nauka. Praktika: materialy 62-y vserossiyskoy nauchno–tekhnicheskoy konferentsii i itogam NIR SGASU za 2004g.

[21]. Krasovskiy P.S. Tekhnologiya konstruktsionnykh materialov. //Khabarovsk.: Izd-vo DVGUPS, 2012. S. 220.

[22]. Rekomendatsii po elektroobogrevu monolitnogo betona i zhelezobetona nagrevatelnymi provodami // TsNIIOMTP Gosstroya SSSR. 1989.

[23]. Golovnev S.G. Zimneye betonirovaniye: etapy stanovleniya i razvitiya // Vestnik VolgGASU. Seriya «Stroitelstvo i arkhitektura». 2013. № 31(50) ch. 2. S. 529-534.

[24]. Tekhnologicheskaya karta na vyderzhivaniye betona metodom "termosa" i ispolzovaniye razogretykh betonnykh smesey. M.: OAO PKTIpromstroy, 1998.

[25]. Tekhnologicheskaya karta na betonirovaniye monolitnykh konstruktsiy s ispolzovaniyem protivomoroznykh dobavok. M.: OAO PKTIpromstroy, 1998.

[26]. Tekhnologicheskaya karta na elektrodnyy progrev konstruktsiy iz monolitnogo betona. M.: OAO PKTIpromstroy, 1998.

[27]. Tekhnologicheskaya karta na induktsionnyy progrev monolitnykh konstruktsiy. M.: OAO PKTIpromstroy, 1998.

[28]. Tekhnologicheskaya karta po infrakrasnomu obogrevu monolitnykh konstruktsiy. M.: OAO PKTIpromstroy, 1998.

[29]. Tekhnologicheskaya karta na elektroobogrev nagrevatelnymi provodami monolitnykh konstruktsiy. M.: OAO PKTIpromstroy, 2003.

[30]. Strelnikova K.A., Potapov S.A., Peshkova D.A. Sovremennyye tekhnologii v stroitelnoy industrii // Resursoenergoeffektivnyye tekhnologii v stroitelnom komplekse regiona. 2013. №3. S. 250-256.

[31]. Gnezdilova O.A. Stroitelnaya teplofizika. Uchebnoye posobiye // Zakrytoye aktsionernoye obshchestvo "Universitetskaya kniga" (Kursk). 2015.

[32]. Rubanov, A.V. Tekhnologiya stroitelnogo proizvodstva v zimnikh usloviyakh // Izd-vo TGASU. 2008. S. 145.

[33]. Vlasov V.A., Malinovskaya T.D., Melentyev S.V. Ispolzovaniye nanokompozitsionnogo tokoprovodyashchego pokrytiya v konstruktsii nagrevatelnogo elementa termoaktivnoy opalubki // Materialy Pervoy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiyem. 2013. S. 377-379

[34]. Gaydayenko Ye.Ye., OvchinnikovaT.S. Opalubochnyye sistemy v monolitnom domostroyenii // Vologdinskiye chteniya. 2004. №38. S. 194-196.

[35]. Sukhodoyeva N.V., Babitskiy V.V. Metodika proyektirovaniya sostava betona // Vestnik belorussko-rossiyskogo universiteta. 2009. №2. S. 167-176.

[36]. Stork Yu. Teoriya sostava betonnoy smesi // Stroyizdat. 1971. S. 238.

[37]. Usherov-Marshak, A. V. Informatsi- onnaya tekhnologiya betona uskorennogo tverdeniya // Beton i zhelezobeton. 1994. № 6. S. 2–4.

[38]. Martynov M.M., Ibragimov R.A., Izotov V.S. Termoaktivnaya opalubka i yeye konstruktsiya // Resursoenergoeffektivnyye tekhnologii v stroitelnom komplekse regiona. 2013. №3. S. 142-146.

[39]. Nikonorov S. V., Bayburin A. Kh., Knutareva N.V. Metodika rascheta tekhnologicheskikh parametrov metoda «termosa», obespechivayushchaya garantirovannyy nabor prochnosti betona // Vestnik yuzhno-uralskogo gosudarstvennogo universiteta. 2005. № 13(53). S. 79-80.

[40]. Novikov S.O. Osnovnyye napravleniya povysheniya effektivnosti vozvedeniya zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona // Aktualnyye voprosy sovremennoy tekhniki i tekhnologii. Sbornik dokladov XXI-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. 2015. S. 63-66.

[41]. Pobezhimova A.S., Ray A.Yu. Primeneniye vintovykh svay v usloviyakh vechnoy merzloty // Sovremennyye problemy promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Institut promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva. 2014. S. 138-139.

[42]. Galuzin V. M., Komarinskiy M. V., Teleshev V. I. Vybor mashin i oborudovaniya dlya proizvodstva betonnykh rabot. SPb. 1995. S. 80.

[43]. Beletskiy B. F. Tekhnologiya i mekhanizatsiya stroitelnogo proizvodstva. // Izd-vo Feniks, 2004. C. 752.

[44]. Mailyan L. R. Spravochnik sovremennogo stroitelya. // Rostov n/D.: Izd-vo Feniks. 2005. S. 540.

[45]. Teleshev V. I., Komarinskiy M. V., Danilov V. M., Ryzhov V. A. Issledovaniya i opyt primeneniya betononasosnogo transporta na stroitelstve Shulbinskoy GES // Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo. 1990. №10. S. 38-43.

[46]. Rechinskiy A. V., Strelets K. I. Povysheniye kvalifikatsii po proyektirovaniyu i stroitelstvu osobo opasnykh, tekhnicheski slozhnykh i unikalnykh obyektov // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2012. № 1. S. 73-75.

[47]. Bulatov G. Ya. Obobshchennyye kriterii optimalnogo vybora tekhnologiy i mashin // Inzhenerno- stroitelnyy zhurnal. 2009. № 1. S. 32-39.

[48]. Gorshkov A. S., Vatin N. I. Innovatsionnaya tekhnologiya vozvedeniya stenovykh konstruktsiy iz gazobetonnykh blokov na poliuretanovyy kley // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2013. № 5. S. 5-19.

[49]. Afanasyev A. A. Vozvedeniye zdaniy i sooruzheniy iz monolitnogo zhelezobetona. M.: Stroyizdat. 1990. S. 380.

[50]. Afanasyev A. A., Matveyev Ye. P., Minakov Yu. A. Tekhnologicheskaya effektivnost uskorennykh metodov tverdeniya betonov v monolitnom domostroyenii // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 1997. № 8. S. 36-37.

[51]. Bazhenov, Yu. M. Tekhnologiya betona. M.: Izd-vo ASV. 2011. S. 524.

[52]. Galumyan, A. V. Organizatsionno-tekhnologicheskaya model skorostnogo stroitelstva zhilykh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona // Avtoref. dis. ... kand. tekhn. Nauk - M. 2010. S. 21.

[53]. Nikolayev S. V. Sbornyy zhelezobeton. Vybor tekhnologicheskikh resheniy. M.: Stroyizdat. 1978. S. 239.

[54]. Golovnev S. G. Sovremennyye stroitelnyye tekhnologii // Chelyabinsk: Izdatelskiy tsentr YuUrGU. 2010. S. 268.

[55]. Barabanshchikov Yu. G., Komarinskiy M. V. Superplastifikator S-3 i yego vliyaniye na tekhnologicheskiye svoystva betonnykh smesey // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. № 6(21). S. 58-69.

[56]. Komarinskiy M. V. Proizvoditelnost porshnevogo betononasosa // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2013. № 6(11). S. 43-49.

[57]. Komarinskiy M. V. Vozvedeniye zh/b gidrotekhnicheskikh sooruzheniy s primeneniyem betononasosnoy tekhnologii [Tekst] / Avtoref. na soisk. uchen. step. k. t. n. / M.V. Komarinskiy. - SPb. 1989. C. 16.

[58]. Komarinskiy M.V., Teleshev V.I. Programmnyy kompleks "calgraph" po raschetu i evristicheskoy optimizatsii lineynykh kalendarnykh planov gidrostroitelstva na PEVM // Uchebnoye posobiye. Sankt- Peterburg, 1997. C. 55.

[59]. Teleshev V. I., Danilov V. M., Komarinskiy M. V. Perspektivy primeneniya betononasosnogo transporta v gidrotekhnicheskom stroitelstve // Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo. 1986. № 6. S. 34-38.

[60]. Malinovskaya L. V. Ob osnovnykh printsipakh obespecheniya kachestva stroitelstva. Mezhdunarodnyy opyt // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2009. № 1. S. 55-56.

[61]. Gorchakov G. I., Bazhenov Yu.M. Stroitelnyye materialy. M.: Vyssh. shkola, 1986. S. 686.

[62]. Davidyuk A. N., Nesvetayev G. V. Effektivnyye betony dlya sovremennogo vysotnogo stroitelstva .M.: NIPKTs-A, 2010. S. 144.

[63]. Kapriyelov S. S., Sheynfeld A. V., Kardumyan G. S. Novyye modifitsirovannyye betony. M.: Pred-tiye Master Beton, 2010. S. 258.

[64]. MDS 12-48.2009. Zimneye betonirovaniye s primeneniyem nagrevatelnykh provodov // OAO «TsPP». – M: 2009.

[65]. Kolchedantsev L. M. Intensifikatsiya betonnykh rabot v usloviyakh massovogo stroitelstva // Beton i zhelezobeton. 1994. № 6. S. 18-21.

[66]. Kolchedantsev L. M. Sposob intensifikatsii betonnykh rabot i sredstvo upravleniyem strukturoobrazovaniyem betona // Stroitelnyye materialy. 1998. № 2. S. 14-16.

[67]. Kolchedantsev L. M. Intensifitsirovannaya tekhnologiya betonirovaniya srednemassivnykh konstruktsiy // Montazhnyye i spetsialnyye raboty v stroitelstve. 1998. № 4. S. 7-11.

[68]. Krylov B.A., Pizhov A.I. Teplovaya obrabotka betona v greyushchey opalubke s setchatymi elektronagrevatelyami. M.: Stroyizdat. 1975. S. 52.

[69]. Telichenko V.I., Terentyev O.M., Lapidus. Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzheniy. M.: Vysshaya shkola. 2006. S. 446

[70]. Vytchikov Yu.S., Glukhov B.A. Raschet temperaturnykh poley v beton- nykh konstruktsiyakh pri obogreve v greyushchikh opalubkakh // Modelirovaniye i optimizatsiya protsessov teploobmena v teploenergetike // KPtI. 1985.

[71]. Mironov S.A., Malinina L.A. Uskoreniye tverdeniya betona // Moskva, Stroyizdat. 1967.

[72]. Moskvin V.M. Deformatsii tsementnogo kamnya, rastvora i krupnogo zapolnitelya pri rannem zamorazhivanii betona // Beton i zhelezobeton. 1969. № 12.

[73]. Mchedlov-Petrosyan O.P., Usherov-Marshak A.V., Chernyavskiy V.L. Strukturoobrazovaniye tsementnykh betonov pri zamorazhivanii // sb. «Sovershenstvovaniye metodov betonirovaniya monolitnykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy, v tom chisle v zimniy period», Krasnoyarsk. 1967.

[74]. Trinker B.D. Betonirovaniye krepi shakhtnykh stvolov, proydennykh po zamorozhennym porodam // Shakhtnoye stroitelstvo. № 3. 1962. S. 7-10.

[75]. Trinker B.D. Opyt podvodnogo betonirovaniya svay metodom VPT v usloviyakh Kraynego Severa // Transportnoye stroitelstvo. 1971. № 2. S. 17-18.

[76]. Trinker B.D. Vopros vliyaniya rannego zamorazhivaniya na posleduyushcheye narastaniye prochnosti betona posle ottaivaniya // RILEM, 2-y Mezhdunarodnyy simpozium po zimnemu betonirovaniyu. Generalnyye doklady, M.: Stroyizdat. 1978. S. 239-241.

[77]. Rukovodstvo po zimnemu betonirovaniyu s primeneniyem metoda termosa // NIIZhB, M.: Stroyizdat. 1976. S. 1-194.

[78]. Trinker A.B. Ot minus 40 do plyus 50 gradusov Tselsiya // Tekhnologii betonov. 2012. № 1-2. S. 28-31.

[79]. R. S. Ghosh, J. N. Mustard Winter concreting in Canada // Canadian journal of civil engineering. 2011. №10(3). 510-526 p.

[80]. R. S. Ghosh, J. N. Mustard Insulated Forms and Thermal Shock in Winter Concreting // Canadian journal of civil engineering. 2011. №2(4). 454-465 p.

[81]. T. Kowatari, H. Ishikawa, T. Tanno, K. Madokoro Construction of Mass Concrete and Winter Concreting on Foundation of Bridge // Concrete Journal. 1988. № 26(12). 22-29 p.

[82]. R. G. Turenne, P. J. Sereda Winter Concreting - Canadian Practice // Second Intcrnational RILEM Symposium on Winter Concreting. 1975.

[83]. G. Suazo, A. Fourie, J. Doherty Experimental Study of the Evolution of the Soil Water Retention Curve for Granular Material Undergoing Cement Hydration // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2016.

[84]. S. Papatzani Effect of nanosilica and montmorillonite nanoclay particles on cement hydration and microstructure // Materials Science and Technology. 2016.

[85]. A. Sarja Development of quality assurance for winter concreting // Third International RILEM Symposium on Winter Concreting. 1985. 288 – 307 p.

[86]. T. Foley, C. Schexnayder Placing Winter Concrete: Pearl Harbor Memorial Bridge // Practice periodical on structural design and construction. 2014. № 20(3).

[87]. L. A. Barna, P.M. Seman, C.J. Corhonen Cold Weather Admixture Systems Demonstration at Fort Wainwright, Alaska // ERDC/CRREL TR-10-6. 2010.

[88]. J. Ni, J. Wen-chieh Cheng, L. Ge Assessment of concrete maturity and overturning mechanism of primary diaphragm walls in very soft clay during cold winter // KSCE Journal of Civil Engineering. 2010.

[89]. B. M. Erakhtin Theoretical basis of designing concrete dams with consideration of construction operations // Hydrotechnical construction. 1998. № 32(2). 82-88 p.

[90]. L. Kivekäs, M. Leivo Research and use of antifreeze admixtures in Finland // Third International RILEM Symposium on Winter Concreting. 1985. 208 – 222 p.

[91]. M.Taniguchi, O. Katsura, Y. Hama A proposal of temperature-time function on the strength development of concrete under sub-zero temperature // Journal of structural and construction engineering. 2009. №74(640). 995-1003 p.

[92]. Z. Bai, Y. Dong, Z. Wang, T. Zhu Emission of ammonia from indoor concrete wall and assessment of human exposure // Environment international. 2006. № 32(3). 303 p.

[93]. Zhu, Bofang Thermal stresses and temperature control of mass concrete // Kidlington, Oxford : Butterworth-Heinemann. 2014.

Гнам П.А., Кивихарью Р.К., Технологии зимнего бетонирования в России // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №9 (48). С. 7-25

Gnam P.A., Kiviharju R.K., Technologies of winter concreting in Russia. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 9 (48), Pp. 7-25. (rus)