

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ И ВЫБОР ВАРИАНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

М. М. Решетов, О.С. Анненкова

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В статье рассмотрены основные характеристики современных отечественных видов зимнего бетонирования с указанием их основных преимуществ и недостатков. Приведены краткие рекомендации по выбору метода зимнего бетонирования в зависимости от условий производства работ.

Ключевые слова: методы зимнего бетонирования, метод термоса, противоморозные добавки, методы искусственного прогрева.

Методы зимнего бетонирования обеспечивают твердение бетонов в условиях отрицательных температур наружного воздуха, при которых без специальных мероприятий процесс твердения бетона. Бетон – универсальный строительный материал, на сегодняшний день, стоимость производства бетонных работ по стоимости приближается к 40% от общей стоимости строительных работ. Процесс изготовления сборных железобетонных изделий и бетонирования монолитных конструкций – это длительный, трудоемкий и дорогой процесс. Наиболее длительным процессом является выдерживание отформованных конструкций, продолжительность набора прочности при нормальных условиях составляет от 7 до 28 суток. В связи с существующими темпами строительства сокращение сроков набора прочности конструкций стало одной из приоритетной задачей. Стоит учитывать, что при выполнении работ в зимнее время стоимость 1 м³ бетона становится дороже на 40-50% по сравнению с выполнением таких же работ в летнее время.

Переход к зимнему бетонированию обычно осуществляется при среднесуточной температуре наружного воздуха ниже +5⁰С и минимальной ниже 0⁰С. Это позволяет с определенным запасом предохранить свежесложенный бетон от замораживания и обеспечить выполнение проектных требований к бетону по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости [1].

В настоящее время согласно СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции» установлены следующие группы методов производства бетонных работ в зимних условиях: метод термоса, бетониро-

вание с применением противоморозных добавок, методы искусственного прогрева.

Выбор метода зимнего бетонирования обуславливается рядом факторов:

1) метод термоса – массивностью конструкции, низкой температурой воздуха, упрощенной технологией работ, а также наличием достаточного времени для набора прочности;

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

3) искусственный прогрев – геометрическими размерами, необходимостью интенсивного набора прочности.

Окончательный выбор метода производства бетонных работ в зимнее время должен быть подкреплен экономическими показателями [3].

Метод термоса получил широкое распространение в производстве бетонных изделий и конструкций на стройках нашей страны в 1930-х годах. Так, при строительстве Магнитогорского и Нижнетагильского металлургических комбинатов, канала Москва – Волга, завода в Краматорске, Цимлянского гидроузла, Днепростроя был применен метод термоса при зимнем бетонировании. Этот метод наиболее эффективен при бетонировании изделий и конструкций большой массивности, при использовании быстротвердеющих портландцементов и эффективных теплоизоляционных материалов (особенно при умеренных морозах). Он успешно применяется и при бетонировании конструкций средней массивности. Степень массивности конструкции характеризуется модулем ее поверхности.

Сущность метода термоса состоит в том, что бетонная смесь изготавливается на подогретых заполнителях, затем транспортируется на строительную площадку, интенсивно укладывается в опалубку и утепляется. Бетон набирает заданную прочность во время остывания до 0°C за счет начального теплосохранения и экзотермического тепловыделения цемента. Применяя этот метод, необходимо обеспечить условия сохранения положительной температуры в теле бетона (обычная бетонная смесь при укладке имеет начальную температуру не ниже +15°C).

Метод термоса следует применять при производстве бетонных работ в зимних условиях со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже +5°C, а минимальной – ниже 0°C. Бетонные работы необходимо производить только при наличии проектов производства работ. Использование этого метода можно расширить за счет повышения начальной температуры, применения цемента с повышенным тепловыделением и быстротвердеющих химических добавок, поверхностно-активных веществ (ПАВ). Иногда целесообразно сочетать метод термоса с электрообогревом конструкции по ее периметру, тогда этот метод может применяться в конструкциях с модулем поверхности до 12 [1].

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.

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

ветственно 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 распределения 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 следить за количеством вводимой противоморозной добавки, т.к. ее оптимальность имеет важное значение. Недостаточное количество может привести к преждевременному замерзанию, которое в раннем возрасте бетона отрицательно сказывается на конечной прочности и приводит к необратимым деструктивным процессам. Избыточное количество добавок приводит к замедлению твердения бетона. 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 электрообогревом смеси. Кроме того, необходимо исходить из расчетной температуры твердения, которая бы обеспечила набор прочности бетона, не менее критической до замерзания.

Преимущества метода введения противоморозных добавок:

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

Недостатки противоморозных добавок:

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

Сущность методов **искусственного прогрева** заключается в подъеме температуры уложенного бетона до максимально допустимой и поддержании ее в течение времени, за которое бетон набирает критическую или заданную прочность. Искусственный прогрев объединяет группу методов, основанных на использовании тепла, получаемого от превращения электрической энергии в тепловую. Подъем температуры можно произвести при пропускании электрического тока через бетон или при помощи нагревательных устройств, от которых тепло подводится к бетону радиационно, кондуктивно или конвективно. Разнообразие методов искусственного прогрева позволяет в каждом конкретном случае (в зависимости от Мп, конфигурации, характера армирования, назначения конструкции) выбрать наиболее эффективный. Искусственный прогрев обеспечивает получение бетонов с заданными физико-механическими свойствами, существенно не отличающимися от свойств бетонов, твердеющих в нормальных условиях. Одновременно он требует от инженерно-технических работников знаний электрофизических и теплофизических процессов, протекающих в бетоне, и высокой культуры обслуживания. Только в этом случае искусственный прогрев может быть эффективен и экономичен по сравнению с другими методами.

Методы искусственного прогрева бетонных и железобетонных конструкций классифицируют следующим образом: электродный прогрев; обогрев различными электронагревательными устройствами; нагрев в электромагнитном поле; инфракрасный обогрев; конвективный метод нагрева бетона; электроразогрев бетонной смеси перед укладкой.

Методы электродного электропрогрева [1] следующие.

Сквозной – используется тепло, которое выделяет свежесложенный бетон при пропуске через него переменного электрического тока. Применение наиболее эффективно для ленточных фундаментов, колонн, стен и перегородок толщиной до 50 см.

Периферийный – применяется для прогрева периферийных зон бетона массивных и средней массивности изделий и конструкций, одно- и двустороннего прогрева тонкостенных конструкций (бетонные подготовки и плиты, плоские перекрытия, стены и перегородки, ленточные фундаменты).

С использованием в качестве электродов арматуры – прогрев изделий и конструкций, армированных отдельными, не связан-

ными между собой стержнями, плоскими каркасами.

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 т.ч. дополнительные электрохимические расчеты);
- дополнительное оборудование (трансформаторы);
- высокие энергозатраты (от 1000 кВт для 3-5 м³ бетонной смеси);
- потребность в большем количестве квалифицированных рабочих кадров.

Индукционный нагрев бетона – используется тепло, выделяемое в арматуре или стальной опалубке, находящихся в электромагнитном поле катушки – индуктора, по которой протекает переменный электрический ток. Применяется при прогреве колонн, ригелей, балок, прогонов, свай, перемычек, а также при замоноличивании стыковых каркасных конструкций.

Преимущества индукционного прогрева:

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

Недостатки индукционного прогрева:

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

Инфракрасный обогрев – один из способов сохранить заданную температуру бетона является воздействием на него инфракрасным излучением, которое имеет свойство поглощаться телами и трансформироваться в тепловую энергию.

При использовании данного метода источники энергии 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 кристаллизироваться. В противном же случае возможно разрушение всей конструкции. Однако данный метод не подходит для конструкций, толщина бетона в которых превышает 50-70 см. В этом случае в дополнение к инфра-

красному обогреву необходимо использовать и другие методы зимнего бетонирования.

Преимущества инфракрасного прогрева:

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

Недостатки инфракрасного прогрева:

- относительно небольшая рабочая площадь и глубина прогрева одного излучателя;
- необходимость размещения установок [3].

Электрообогрев включает в себя методы:

- С помощью высокотемпературных нагревателей инфракрасного излучения – используется способность инфракрасных лучей поглощаться телом и трансформироваться в тепловую энергию. Применяется при возведении монолитных конструкций различной конфигурации, а также при сушке термоизоляции и штукатурки.

- С помощью низкотемпературных электронагревателей – обогрев изделий и конструкций осуществляется с помощью вмонтированных жестких электронагревателей в опалубку или гибких – в греющие маты и одеяла. Применяется для всех видов изделий и конструкций.

- Обогрев в камерах с излучающими поверхностями – тепловая обработка изделий и конструкций в камерах, оборудованных индукторами. Применяется при изготовлении плит перекрытия и покрытия, а также мелкого железобетона.

- С помощью греющего провода – обогрев бетона осуществляется по периферийным зонам конструкции путем подачи тепла непосредственно на бетон или опалубку. Применяется при возведении монолитных конструкций различной конфигурации и армированных по любой схеме, а также при сушке теплоизоляционного бетона и штукатурки.

- Предварительный электроразогрев бетонной смеси – бетонная смесь разогревается током промышленной частоты напряжением 380 В в специальных устройствах вне формы (посты электроразогрева бетонной смеси), укладывается и уплотняется в горячем виде. Бетонируются конструкции с $M_p=12 \text{ М}^{-1}$.

- Электроразогрев бетона в форме с повторным уплотнением – бетонная смесь в хо-

лодном состоянии укладывается и уплотняется в форме, а затем быстро разогревается и повторно уплотняется.

- Электроразогрев смеси в процессе виброформования – при изготовлении тонкостенных изделий и линейных элементов с одиночной арматурой.

- Конвективный метод нагрева бетона – применяется при изготовлении изделий и конструкций в заводских и построечных условиях, где для ускорения твердения бетона применяется тепловлажностная обработка изделий при температуре до 100°C . В качестве теплоносителя применяется насыщенный водяной пар или паровоздушная смесь.

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), указания по установке электронагревательных элементов (инфракрасных и низкотемпературных), схемы подвода электропитания с подключением электродов или электронагревателей.

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. Значения технико-экономических параметров на 1 м^3 бетона приняты согласно комплекту технологических карт на производство монолитных бетонных работ при отрицательных температурах воздуха. В таблице 1 приведены затраты труда рабочих и расход электроэнергии, необходимые для бетонирования монолитных конструкций в зимних условиях [3].

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 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 один из альтернативных методов или комбиниро-

Таблица 1 – Значения технико-экономических параметров

Название метода	Единица измерения	Затраты труда	Расход электроэнергии
		чел. час	кВт × ч
Метод термоса		0,9	50-80
Метод с использованием противоморозных добавок		0,13	-
Электродный прогрев		3,03	80-120
Индукционный прогрев		22,5	120-180

ванный метод термоса с введением противоморозных добавок (использование ПМД не требует дополнительных затрат на электроэнергию и рабочую силу).

В настоящее время существует большое количество методов строительства бетонных и железобетонных сооружений в зимних условиях при температурах до -25...35°C.

В работе даны основные характеристики современных отечественных видов зимнего бетонирования с указанием их основных преимуществ и недостатков. Приведены краткие рекомендации по выбору метода зимнего бетонирования в зависимости от особенностей конструкций зданий и сооружений, необходимого времени для набора прочности бетоном, возможностей электроснабжения.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гныря, А. И. Технология бетонных работ в зимних условиях: учеб. пособие / А. И. Гныря, С. В. Коробков. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. – 412 с.
2. Садович, М. А. Методы зимнего бетонирования: учебное пособие / М. А. Садович. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Братск : ГОУ ВПО «БрГУ», 2009. – 104 с.
3. Гнам, П. А. Технологии зимнего бетонирования в России / П. А. Гнам, Р. К. Кивихарью // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 9 (48). – С.7-25.

Решетов М.М. – магистрант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: 01101094@mail.ru.

Анненкова О.С. – к.т.н., доцент кафедры «Технология и механизация строительства» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: 222-ru@mail.ru.

УДК 691.542: 539.4

КОНТАКТНО-КОНДЕНСАЦИОННОЕ ТВЕРЖДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НИЗКООСНОВНЫХ ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ

А. О. Садрашева

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В статье рассмотрен механизм контактно-конденсационного твердения низкоосновных гидросиликатов кальция, позволяющих получить широкую номенклатуру строительных материалов.

Ключевые слова: контактное твердение, гидросиликаты кальция, прессование, прочность, водостойкость.

Исследованиями многих авторов [2-6] было выявлено, что алюмосиликатные минералы нестабильной аморфной (неупорядоченной) структуры способны образовывать прочный водостойкий материал, в момент сближения частиц при уплотнении (контактное твердение). Силикаты кальция гидратных и безводных фаз нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. В

отличие от природных силикатов кальция, в процессе синтеза гидросиликатов кальция имеется возможность варьирования, как составом, так и структурой конечного продукта синтеза в зависимости от цели их последующего применения. Синтетические гидросиликаты кальция характеризуются высокой степенью дисперсности, однородностью по