

Технология бетонных работ в зимних условиях

В статье описана технология производства бетонных работ в зимних условиях. Рассмотрены методы зимнего бетонирования, область их применения для различных погодных условий и бетонируемых конструкций.

железобетон, электропрогрев, термос, зимнее бетонирование, противоморозные добавки, опалубка, модуль поверхности

Физические процессы и определяющие положения

Железобетон широко используется во всех отраслях строительства. И это не случайно, ведь в городском строительстве железобетонным конструкциям нет альтернативы: жилые и общественные здания, сооружения, мосты, тоннели, путепроводы и т.д. В развитых странах на одного жителя изготавливается до 2 м³ различных бетонных конструкций в год. В Украине этот показатель гораздо ниже и объясняется низкими темпами зимнего строительства.

© С.А. Джирма, Г.А. Попов, 2010

Низкая температура является главной проблемой сопровождающей зимнее бетонирование.

Понятие "зимние условия" в технологии монолитного бетона и железобетона несколько отличается от общепринятого - календарного. Зимние условия начинаются, когда среднесуточная температура наружного воздуха снижается до +5⁰С, а в течение суток имеет место падение температуры ниже 0⁰С [1].

Каким образом отрицательная температура может повлиять на процесс схватывания и твердение бетона. Существует две основных причины:

- замедление процесса гидратации цемента (увеличение сроков набора прочности бетона);
- замерзание воды, входящей в состав бетона (полная остановка процесса набора прочности).

Например, низкая температура (0 до +10⁰С) существенно затормаживает процесс гидратации цемента. Попросту - продлеваются сроки набора прочности бетона. К примеру: в нормальных условиях (+20⁰С) за неделю бетон набирает до 70% прочности. При температуре окружающего воздуха +5⁰С, срок набора 70% марочной прочности бетона может растянуться на 3-4 недели.

И если низкая положительная температура тормозит процесс схватывания и набора прочности бетона, то отрицательная - полностью его останавливает.

При отрицательных температурах не прореагировавшая с цементом вода переходит в лед и не вступает в химическое соединение с цементом. В результате этого прекращается реакция гидратации и, следовательно, бетон не твердеет. Одновременно в бетоне развиваются значительные силы внутреннего давления, вызванные увеличением (примерно на 9%) объема воды при переходе ее в лед. При раннем замораживании бетона его неокрепшая структура не может противостоять этим силам и нарушается. При последующем оттаивании замерзшая вода вновь превращается в жидкость и процесс гидратации цемента возобновляется, однако разрушенные структурные связи в бетоне полностью не восстанавливаются.

Замораживание свежешелюженного бетона сопровождается также образованием вокруг арматуры и зерен заполнителя ледяных пленок, которые благодаря притоку воды

из менее охлажденных зон бетона увеличиваются в объеме и отжимают цементное тесто от арматуры и заполнителя.

Все эти процессы значительно снижают прочность бетона и его сцепление с арматурой, а также уменьшают его плотность, стойкость и долговечность.

Если бетон до замерзания приобретает определенную начальную прочность, то все упомянутые выше процессы не оказывают на него неблагоприятного воздействия.

Прочность, после набора которой дальнейшее воздействие замерзания не влияет на физико-механические характеристики бетона, называется критической. Величина нормируемой критической прочности зависит от класса бетона, вида и условий эксплуатации конструкции и составляет: для бетонных и железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой - 50% проектной прочности для В7,5...В10, 40% для В12,5...В25 и 30% для В30 и выше; для конструкций с предварительно напрягаемой арматурой – 80% проектной прочности; для конструкций, подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию или расположенных в зоне сезонного оттаивания вечномерзлых грунтов - 70% проектной прочности; для конструкций, нагружаемых расчетной нагрузкой - 100% проектной прочности [2].

Поэтому при бетонировании в зимних условиях необходимо создать и поддерживать такие температурно-влажностные условия, при которых бетон твердеет до приобретения или критической, или заданной прочности в минимальные сроки с наименьшими трудовыми затратами.

Необходимый температурный режим твердения бетона создают различными способами: разогревом бетона при его приготовлении, выдерживанием бетона в утепленных опалубках (метод термоса); внесением в бетон химических добавок, снижающих температуру замерзания; тепловым воздействием на свежееуложенный бетон греющих опалубок; электродным прогревом; инфракрасными источниками теплоты и т.д. Технологический прием выбирают с учетом условий бетонирования, вида конструкций, особенностей используемых бетонов, экономической эффективности.

Метод "термоса"

Технологическая сущность метода "термоса" заключается в том, что имеющая положительную температуру (обычно в пределах 15...30⁰С) бетонная смесь укладывается в утепленную опалубку. В результате этого бетон конструкции набирает заданную прочность за счет начального теплосодержания и экзотермического тепловыделения цемента за время остывания до 0⁰С.

В процессе твердения бетона выделяется экзотермическая теплота, количественно зависящая от вида применяемого цемента и температуры выдерживания.

Наибольшим экзотермическим тепловыделением обладают высокомарочные и быстротвердеющие портландцементы. Экзотермия бетона обеспечивает существенный вклад в теплосодержание конструкции, выдерживаемой методом "термоса".

Поэтому при применении метода "термоса" рекомендуется применять бетонную смесь на высокоэкзотермичных портланд- и быстротвердеющих цементах, укладывать с повышенной начальной температурой и тщательно утеплять.

Метод термоса тем эффективнее, чем массивнее бетонизируемая конструкция. Степень массивности оценивают модулем поверхности $M_n = F/V$, где F - площадь суммарной охлаждаемой поверхности конструкции, м²; V - объем конструкции, м³.

Конструкция считается массивной при $M_n < 6$, средней массивности при $M_n = 6...9$ [1].

Метод "термоса" применяют для конструкций с $M_n < 6$ при укладке смесей на портландцементе и с $M_n < 10$ на быстротвердеющем портландцементе.

Модификации метода "термоса" ("термос с добавками-ускорителями" и "горячий термос") позволили расширить область его применения на конструкции с большим M_n .

Бетонирование методом "Термос с добавками-ускорителями"

Некоторые химические вещества (хлористый кальций CaCl_2 , углекислый калий - поташ K_2CO_3 , нитрат натрия NaNO_2 и др.), введенные в бетон в незначительных количествах (до 2% от массы цемента), оказывают следующее действие на процесс твердения: эти добавки ускоряют процесс твердения в начальный период выдерживания бетона. Так, бетон с добавкой 2%-ного хлористого кальция от массы цемента уже на третий день достигает прочности, в 1,6 раза большей, чем бетон того же состава, но без добавки. Введение в бетон добавок-ускорителей, являющихся одновременно и противоморозными добавками, в указанных количествах понижает температуру замерзания до -3°C , увеличивая тем самым продолжительность остывания бетона, что также способствует набору бетоном большей прочности.

Бетоны с добавками-ускорителями готовят на подогретых заполнителях и горячей воде. При этом температура бетонной смеси на выходе из смесителя колеблется в пределах $25...35^\circ\text{C}$, снижаясь к моменту укладки до 20°C . Такие бетоны, применяют при температуре наружного воздуха $-15...-20^\circ\text{C}$. Укладывают их в утепленную опалубку и закрывают слоем теплоизоляции. Твердение бетона происходит в результате термосного выдерживания в сочетании с положительным воздействием химических добавок. Этот способ является простым и достаточно экономичным, позволяет применять метод "термоса" для конструкций с $M_n < 8$ (бетоны на обычных портландцементях).

Бетонирование способом "Горячий термос"

Заключается в кратковременном разогреве бетонной смеси до температуры $60...80^\circ\text{C}$, уплотнении ее в горячем состоянии и термосном выдерживании или с дополнительным обогревом.

В условиях строительной площадки разогрев бетонной смеси осуществляют, как правило, электрическим током. Для этого порцию бетонной смеси с помощью электродов включают в электрическую цепь переменного тока в качестве сопротивления.

Электроразогрев бетонной смеси осуществляют при напряжении тока 380 и реже 220 В. Для организации электроразогрева на строительной площадке оборудуют пост с трансформатором (напряжение на низкой стороне 380 или 220 В), пультом управления и распределительным щитом.

Электроразогрев бетонной смеси осуществляют в основном в бадьях или в кузовах автосамосвалов.

В первом случае приготовленную смесь (на бетонном заводе), имеющую температуру $5...15^\circ\text{C}$, доставляют автосамосвалами на строительную площадку, выгружают в электробадью, разогревают до $70...80^\circ\text{C}$ и укладывают в конструкцию.

Во втором случае приготовленную на бетонном заводе смесь доставляют на строительную площадку и разогревают в кузове автосамосвала при помощи рамы с электродами. Разогрев ведут в течение 10...15 мин до температуры смеси на быстротвердеющих портландцементях 60°C , на портландцементях 70°C , на шлакопортландцементях 80°C .

Метод "горячий термос" применяют для конструкций с $M_n < 12$ [3].

Бетонирование с применением противоморозных добавок

Основная причина прекращения твердения бетонных смесей при воздействии низких температур – замерзания в них воды. Известно, что содержание в воде солей резко снижает температуру ее замерзания. Если в процессе приготовления в бетонную смесь ввести определенное количество растворенных солей, то процесс твердения будет протекать и при температуре ниже 0°C .

В качестве основных противоморозных добавок применяют соли соляной кислоты [4]:

- хлорид кальция (ХК) CaCl_2 ;
- хлорид натрия (ХН) NaCl ;

- карбонат калия (поташ) (П) K_2CO_3 ;
- нитрит натрия (НН) $NaNO_2$.

Применяют также ряд комплексных соединений:

- хлорид кальция (ХК) $CaCl_2$ + хлорид натрия (ХН) $NaCl$;
- хлорид кальция (ХК) + нитрит натрия (НН);
- нитрат кальция (НК) $Ca(NO_3)_2$ + мочевины (М) $CO(NH_2)_2$;
- комплексное соединение нитрата кальция с мочевиной (НКМ);
- нитрит-нитрат кальция (ННК) + мочевины (М);
- нитрит-нитрат кальция (ННК) + хлорид кальция (ХК);
- нитрит-нитрат - хлорид кальция (ННХК) + мочевины (М).

Выбор противоморозных добавок и их оптимальное количество зависят от вида бетонируемой конструкции, степени ее армирования, наличия агрессивных сред и блуждающих токов, температуры окружающей среды.

Противоморозные химические добавки запрещается использовать при бетонировании предварительно напряженных конструкций, армированных термически упрочненной сталью; при возведении железобетонных конструкций для электрифицированных железных дорог и промышленных предприятий, где возможно возникновение блуждающих токов способствующих разрушению бетона.

В зависимости от температуры наружного воздуха возможны различные сочетания добавок. Бетон с противоморозными добавками применяют в тех случаях, когда достигается набор критической прочности до их замерзания.

При выборе добавок учитывают их стоимость и влияние на физико-механические и технологические свойства бетонов и бетонных смесей

Некоторые добавки, например хлористые соли, ухудшают качество поверхности возводимых конструкций вследствие образования высолов. Поэтому их применяют при возведении сооружений небольших объемов, к качеству поверхностей которых не предъявляют высоких требований (например, фундаменты, балки).

Если после укладки бетона температура его стала ниже расчетной, принятой при установлении концентрации водных растворов противоморозных добавок, уложенный бетон утепляют или обогревают до момента достижения бетоном необходимой прочности.

Искусственный прогрев и нагрев бетона

Сущность метода искусственного прогрева и нагрева заключается в повышении температуры уложенного бетона до максимально-допустимой и поддержании ее в течение времени, за которое бетон набирает критическую или заданную прочность.

Искусственный прогрев и нагрев бетона применяют при бетонировании конструкций с $M_n > 10$, а также и более массивных, если в последних невозможно получить в установленные сроки заданную прочность при выдерживании только способом термоса.

Электропрогрев бетона

Способ электропрогрева бетона в конструкциях основан на использовании выделяемой теплоты при прохождении через него электрического тока. Для подведения напряжения используют электроды различной конструкции и формы. В зависимости от расположения электродов прогрев подразделяют на сквозной и периферийный. При сквозном прогреве электроды располагают по всему сечению, а при периферийном – по наружной поверхности конструкций.

Для сквозного прогрева колонн, балок, стен и других конструкций, возводимых в деревянной опалубке, применяют стержневые электроды, которые изготовляют из отрезков арматурной стали диаметром до 6 мм с заостренным концом. Расстояние между электродами по горизонтали и вертикали принимают по расчету. Затем осуществляют их коммутацию.

Для периферийного прогрева при слабом армировании и когда исключен контакт с арматурой, применяют плавающие электроды в виде замкнутой петли. При прогреве плоских конструкций (например, подготовка под полы, дорожные покрытия, ребристые плиты) применяют пластинчатые электроды.

Нашивные электроды, так же как и плавающие, относятся к элементам периферийного прогрева. Их изготавливают из круглой арматурной стали или металлических пластин толщиной 2...3 мм. Электроды нашивают на щиты опалубки, а концы загибают под углом 90° и выводят наружу. После установки опалубки производят коммутацию электродов. Необходимо помнить, что электроды не должны иметь контакта с арматурой конструкции во избежание короткого замыкания. Поэтому при установке арматурных каркасов используют пластмассовые прокладки и фиксаторы, которые обеспечивают заданную толщину защитного слоя и предотвращают контакт с электродами.

При изготовлении длинномерных конструкций (колонн, ригелей, балок, свай) используют струнные электроды. Выполняют их из гладкой арматурной стали диаметром 4...6 мм и располагают в центральной части сечения конструкции.

Необходимую температуру прогрева бетона получают изменением напряжения, периодическим отключением и включением всего прогрева или части электродов. При электропрогреве бетонных конструкций с помощью контрольно-измерительных приборов постоянно контролируют напряжение, силу тока и температуру бетона. В первые 3 часа прогрева температуру измеряют каждый час, а затем - через 2...3 часа.

Если скорость остывания превысит допустимую, в бетонной смеси возникнут температурные напряжения, способные разрушить структуру бетона или образовать в нем трещины. Регулируют скорость остывания путем правильного подбора теплоизоляции опалубки.

Бетонирование в термоактивной опалубке

Термоактивной (греющей) опалубкой называются многослойные щиты, которые оснащены нагревательными элементами и утеплены. Теплота через палубу щита передается в поверхностный слой бетона, а затем распространяется по всей его толщине. Обогрев бетона таким способом не зависит от температуры наружного воздуха. Греющую опалубку применяют при возведении тонкостенных и среднемаассивных конструкций, а также при замоноличивании стыков и швов при температуре наружного воздуха до -40°C .

Конструкции греющей опалубки многообразны. Основное требование, предъявляемое к ним – равномерность распределения температуры по опалубке щита.

В качестве нагревательных элементов применяют трубчатые электронагреватели (ТЭНы), греющие провода и кабели, гибкие тканевые ленты, а также нагреватели, изготовленные из нихромовой проволоки, композиции полимерных материалов с графитом (углеродные ленточные нагреватели) и токопроводящими элементами и др. [1, 5].

Трубчатые электронагреватели состоят из трубок (стальных, медных, латунных) диаметром 9-18 мм, внутри которых находится нихромовая спираль.

Проволочные нагревательные элементы выполняют из нихромовой проволоки диаметром 0,8...3 мм, которую наматывают на каркас из изоляционного материала и изолируют асбестом.

В качестве нагревательных кабелей применяют кабели, которые состоят из константановой проволоки диаметром 0,7...0,8 мм, помещенной в термостойкую изоляцию.

Размещают нагреватели на щите опалубки в зависимости от режимов обогрева и мощности: греющие провода и кабеля устанавливают вплотную к палубе, ТЭНы – на небольшом расстоянии от нее. В фанерной греющей опалубке нагревательные кабели и провода запрессовывают в защитные покрытия, состоящие из пакета тонких полимерных пленок.

Углеродные ленточные нагреватели наклеивают специальными клеями на палубу щита. Для обеспечения прочного контакта с коммутирующими проводами концы лент подвергают меднению.

Соблюдение технологического режима прогрева позволяет получить бетон требуемых физико-механических характеристик. Контролируемыми параметрами прогрева являются скорость разогрева бетона, температура на палубе щитов и продолжительность обогрева.

Зимой для обогрева монолитного бетона покрытий и оснований дорог, подготовки под полы, стыков между сборными конструкциями применяют термоактивные гибкие покрытия (ТАГП) – легкие, гибкие устройства с углеродными ленточными нагревателями и проводами, которые обеспечивают нагрев до 50⁰С. Изготавливают покрытие путем горячего прессования пакета, состоящего из слоя листовой невулканизированной резины, армирующих стеклотканевых прокладок, углеродных тканевых электронагревателей или проводов и утеплителя. Покрытие можно располагать на вертикальных, горизонтальных и наклонных конструкциях. Электропитание ТАГП осуществляется от понижающих трансформаторов напряжением 36...120 В. Как и щиты термоопалубки, ТАГП снабжено датчиками температуры с выводом показателей на пульт управления. Это позволяет оперативно контролировать режим прогрева.

Перед началом работ проверяют состояние и работоспособность греющей оснастки и автоматики температурного регулирования. Для соблюдения технологического режима прогрева бетона следует не реже чем через один час измерять температуру бетона и не менее одного раза измерять температуру наружного воздуха.

Обогрев бетона инфракрасными лучами

При инфракрасном нагреве используют способность инфракрасных лучей поглощаться телом и трансформироваться в тепловую энергию, что повышает теплосодержание этого тела.

Теплота от источника инфракрасных лучей к нагреваемому телу передается мгновенно, без участия какого-либо переносчика теплоты. Поглощаясь поверхностями облучения, инфракрасные лучи превращаются в тепловую энергию. От нагретых таким образом поверхностных слоев тело прогревается за счет собственной теплопроводности.

Источником инфракрасных (тепловых) лучей служат ТЭНы мощностью 0,6...1,2 кВт с рабочим напряжением 127, 220 и 380 В, керамические стержневые излучатели диаметром 6...50 мм, мощностью 1...10 кВт, кварцевые трубчатые излучатели и другие средства [3].

Инфракрасный нагрев применяют при следующих технологических процессах: отогреве арматуры, замороженных оснований и бетонных поверхностей; тепловой защите укладываемого бетона; ускорении твердения бетона при устройстве междуэтажных перекрытий, возведении стен и других элементов в опалубке, высотных сооружений в скользящей опалубке (элеваторы, силосы и т.п.).

Для улучшения поглощения инфракрасного излучения поверхность опалубки покрывают черным матовым лаком.

Инфракрасные установки располагают на таком расстоянии друг от друга, чтобы прогревалась вся поверхность бетона. Инфракрасный обогрев обеспечивает хорошее качество термообработки бетона при условии соблюдения теплового режима выдерживания бетона.

Обогрев бетона с помощью нагревателей воздуха

Одним из современных способов зимнего бетонирования является прогрев возводимых бетонных и железобетонных конструкций с помощью мобильных нагревателей воздуха "Термобиле".

Область применения воздушнонагревателей при строительстве в зимний период:

- отогрев замороженных бетонных и грунтовых оснований, арматуры, закладных металлических деталей и опалубки, удаление наледи и снега;

- интенсификацию твердения бетона конструкций и сооружений, возводимых в скользящей либо объемно-переставной опалубке, плит перекрытий и покрытий, вертикальных и наклонных конструкций, бетонируемых в металлической опалубке;

- предварительный отогрев зоны стыков сборных железобетонных конструкций и ускорение твердения бетона или раствора при заделке стыков, ускорение твердения бетона или раствора при укрупненной сборке большеразмерных железобетонных конструкций;

- создание тепловой защиты поверхностей, недоступных для устройства изоляции.

Успешное решение различных технологических задач, возникающих в условиях отрицательных температур, с помощью теплогенераторов "Термобиле" отводит на второй план прежние методы прогрева. Это обусловлено тем, что использование воздухонагревателей значительно снижает затраты, резко увеличивает темпы строительства и обеспечивает высокое качество в соответствии с требованиями, предъявляемыми к производству железобетонных работ.

Список литературы

1. Данилов Н.Н., Булгаков С.Н., Зимин М.П. Технология и организация строительного производства. – М.: Стройиздат, 1988. – 752 с.
2. Технология строительного производства. Учебник для вузов / С.С. Атаев, Н.Н. Данилов, Б.В. Прыткин и др. – М.: Стройиздат, 1984. – 559 с.
3. Драченко Б.Ф., Ерисова Л.Г., Горбенко П.Г. Технология строительного производства. – М.: Агропромиздат, 1990. – 512 с.
4. Литвинова О.О., Белякова Ю.И. Технология строительного производства. – К.: Выща школа, 1985. – 497 с.
5. Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лапидус А.А. Технология возведения зданий и сооружений. – М.: Высш. шк., 2004. – 446 с.

Одержано 01.09.10