

## БЕТОНИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ С ТЕРМООБРАБОТКОЙ

Термообработка бетона представляет собой искусственное внесение тепловой энергии в монолитную конструкцию в период ее твердения с целью сокращения периода выдерживания бетона и приобретения им критической или проектной прочности до замерзания.

Область применения способов теплового воздействия на выдерживаемый бетон распространяется на все разновидности монолитных конструкций с модулем поверхности  $M_n > 3$ .

Выбор же оптимального способа термообработки осуществляют на основании технико-экономического расчета с привязкой к условиям определенного объекта строительства.

Технология термообработки бетона имеет свои особенности. Основная из них — необходимость соблюдения расчетных режимов термообработки. Основными характеристиками технологических режимов являются: начальная температура бетона, продолжительность цикла термообработки до получения критической прочности, скорость подъема температуры (разогрева) бетона, температура и продолжительность изотермического выдерживания, скорость и продолжительность остывания, критическая или проектная прочность бетона.

Тепловое воздействие на прогреваемый бетон осуществляется несколькими методами, отличающимися способами передачи тепловой энергии. Самыми распространенными из них в практике строительства являются следующие.

1. **Контактный способ**, обеспечивающий передачу тепловой энергии от искусственно нагретых тел (материалов) прогреваемому бетону путем непосредственного контакта между ними (рисунок 1). Разновидностями этого способа являются: обогрев бетона в термоактивной опалубке, а также прогрев с применением различных технических средств (греющие провода, кабель, термоактивные гибкие покрытия и пр.), непосредственно контактирующих с обогреваемой средой — бетоном. Способ применяется, в основном, для прогрева тонкостенных конструкций с модулем поверхности 8...20.

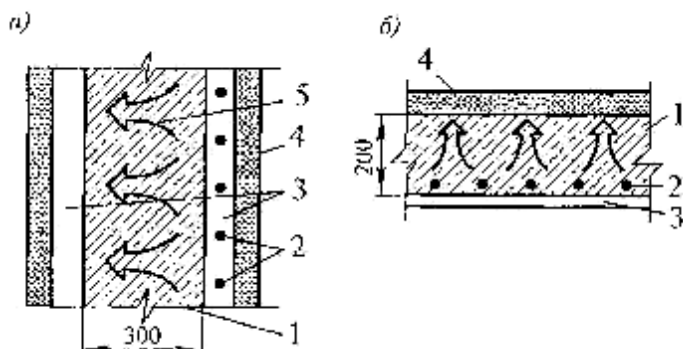


Рисунок 1 – Схемы контактного нагрева монолитных конструкций: а — стены; б — перекрытия; 1 — забетонированная конструкция; 2 — нагревательные элементы (греющие провода); 3 — опалубка; 4 — теплоизоляция; 5 — направление теплового потока

2. **Конвективный способ**, при котором передача тепла от искусственных источников нагреваемым объектам (опалубке или бетону) происходит через воздушную среду путем конвекции (рисунок 2). Технология реализуется в замкнутых контурах с применением технических средств (электрокалориферов, газовых конвекторов и пр.), преобразующих различные энергоносители (электроэнергия, газ, жидкое или сухое топливо, пар и пр.) в тепловую энергию. Метод применим для прогрева тонкостенных стеновых конструкций и

перекрытий.

Достоинства конвективного метода — незначительная трудоемкость работ и замкнутое пространство вокруг прогреваемой конструкции посредством инвентарных ограждений и полов, например, из брезента. Недостатки: значительные потери тепловой энергии на нагрев посторонних предметов и воздуха, большая продолжительность цикла обогрева (3...7 сут.) и, как следствие, высокий показатель удельного расхода энергии (свыше 150 кВт·ч на прогревание 1м<sup>3</sup> бетона).

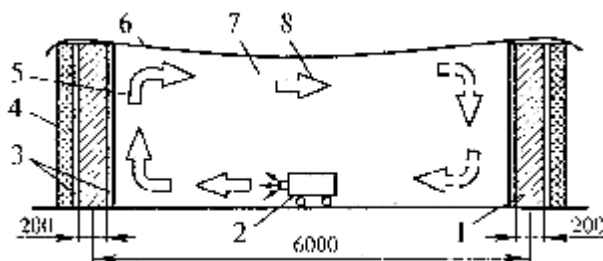


Рисунок 2 – Схема конвективного нагрева монолитных конструкций:

- 1 — забетонированная стена; 2 — электропушка (электрокалорифер); 3 — опалубка; 4 — теплоизоляция; 5 — направление теплового потока вдоль стены; 6 — инвентарный полог из брезента; 7 — нагреваемая воздушная среда; 8 — принудительная конвекция

3. **Электропрогрев** основан на выделении в твердеющем бетоне тепловой энергии, получаемой путем пропускания электрического тока через жидкую фазу бетона, используемую в качестве омического сопротивления. При этом пониженное напряжение к прогреваемой монолитной конструкции подводят посредством различных электродов (стержневых, полосовых и струнных), погружаемых в бетон или соприкасающихся с ним (рисунок 3). Область использования — прогрев монолитных конструкций с модулем поверхности 5...20. Применению метода должен предшествовать расчет и проектирование электродов, схемы их расположения и подключения к сети, а также режима прогрева.

Преимущества метода: в качестве электродов используют подручные материалы — арматуру или листовой металл, потери тепловой энергии минимальны. Недостатки: безвозвратные потери металла — стержневых электродов (остающихся в теле забетонированной конструкции), значительная трудоемкость при реализации метода (особенно при использовании арматурных стержней), необходимость регулирования (снижения) электрической мощности посредством понижающего трансформатора при уменьшении удельного электрического сопротивления бетона, вероятность появления температурных напряжений в зонах примыкания бетона к электродам.

4. **Инфракрасный нагрев** основан на передаче лучистой энергии от генератора инфракрасного излучения нагреваемым поверхностям через воздушную среду. На облучаемой поверхности поглощенная энергия инфракрасного спектра преобразуется в тепловую и благодаря теплопроводности распространяется в глубь нагреваемой конструкции.

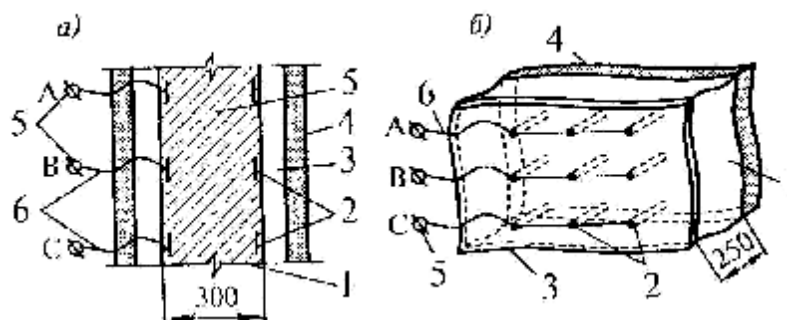


Рис. 3 – Схемы электропрогрева монолитных конструкций: *a* — стены; *б* — ленточную фундамента; 1 — забетонированная конструкция; 2 — электроды полосовые и стержневые; 3 — опалубка; 4 — теплоизоляция; 5 — контактные выводы; 6 — выводы электроразводки

Метод реализуется посредством автономных (от забетонированной конструкции и опалубки) инфракрасных прожекторных установок (ИПУ), работающих в основном на электроинфракрасного нагрева энергии (рисунок 4).

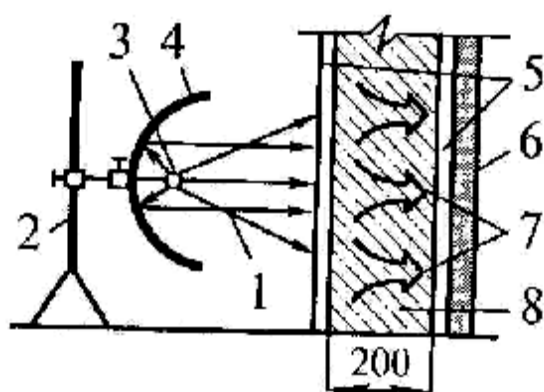


Рис. 4 – Схема инфракрасного нагрева монолитных конструкций:  
 1 – поток лучистой энергии; 2 – стойка инфракрасной установки; 3 — инфракрасный излучатель; 4 – рефлектор-отражатель; 5 – опалубка; 6 – теплоизоляция;  
 7 – направление теплового потока в конструкции; 8 – забетонированная стена

Преимущества метода: отсутствие необходимости в переоборудовании опалубки, возможность выполнять вспомогательные операции (отогрев замороженного основания или стыков ранее уложенного бетона, удаление наледи на арматуре и в заопалубленном пространстве), возможность прогревать конструкцию параллельно с бетонированием, сохраняя ранее внесенную тепловую энергию, и за суточный цикл термообработки получать до 70% проектной прочности бетона.

Недостаток технологии: значительная трудоемкость метода, связанная с переносом, расстановкой и подключением к электрической сети технических средств (ИПУ), необходимость обеспечения замкнутого объема для сокращения затрат тепловой энергии (особенно в ветреную погоду), а также высокий удельный расход электроэнергии: 80...120 кВт·ч на прогревание 1 м<sup>3</sup> бетона.

**5. Индукционный прогрев** основан на использовании электромагнитной индукции, при которой энергия переменного электромагнитного поля преобразуется в арматуре или в стальной опалубке в тепловую и за счет теплопроводности передается бетону. Реализуется метод посредством инвентарного индуктора, рассчитанного и изготовленного для

определенного узла (например, стыка железобетонных колонн) или объема железобетонной конструкции.

Преимущества метода: простота и качество прогрева конструкций с большой насыщенностью арматурой, обеспечение равномерного по сечению и протяженности конструкции температурного поля.

При термообработке бетона контролю, в частности, подвергают:

- требуемую (по ППР) начальную температуру бетонной смеси (доставленной и уложенной в конструкцию);
- температуру выдерживаемого бетона и выпусков арматуры (через каждые 1...2 ч);
- скорость подъема температуры бетона;
- равномерность прогрева конструкции в различных плоскостях;
- размещение в зоне прогрева (выдерживания) бетона контрольных кубиков;
- скорость остывания прогретых конструкций;
- продолжительность распалубливания конструкций;
- качество и прочность выдерживаемого бетона и оценка его итоговых характеристик (оперативный контроль).

**б. Греющие провода.** Для отдельных видов бетонируемых конструкций, в том числе и при несъемной опалубке из пенополистирола, рекомендуется применять нагревательные провода с металлической токонесущей изолированной жилой, подключаемые в электрическую сеть и работающие, как нагреватели сопротивления. Для нормального обогрева основным требованием является предотвращение механических повреждений изоляции проводов при их установке, монтаже опалубки и укладке бетонной смеси, устранение замыканий токонесущей жилы с арматурой и другими металлическими элементами.

Нагревательные провода размещают в конструкции перед бетонированием. В монолитных стенах применяют вертикальную навивку нагревательного провода. Провод закрепляют снаружи на вертикальные сетки и каркасы, в наиболее защищенной зоне при бетонировании — между арматурой и опалубкой. В перекрытиях провод размещают в нижней части, закрепляя по сетке и арматурному каркасу. Греющий провод применяют в виде последовательно соединенных отрезков длиной 30...45 м. Провода к арматуре крепят вязальной проволокой.

Продолжительность обогрева зависит от температуры и требуемой конечной прочности бетона, которую можно определить по графикам набора прочности в зависимости от температуры выдерживания. После окончания изотермического выдерживания он остывает под слоем утеплителя. Скорость остывания бетона при резком понижении температуры наружного воздуха поддерживают в заданных пределах путем периодических включений под рабочую нагрузку на 15...30 мин греющих проводов.

В бетонную смесь, подвергаемую тепловой обработке, целесообразно вводить противоморозные добавки (нитрит натрия) в количестве 2...4% от массы цемента для понижения температуры льдообразования и сохранения более значительного срока удобоукладываемости бетонной смеси. Такое решение принимают, когда условия транспортирования и укладки смеси при отрицательной температуре наружного воздуха не позволяют сохранить положительную температуру бетона до начала прогрева.

#### **Рекомендации по выбору метода термообработки**

Практика зимнего бетонирования позволяет рекомендовать наиболее эффективные способы термообработки для определенных монолитных конструкций.