

УПРАВЛЯЕМЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ ВЫДЕРЖИВАНИЯ БЕТОНА - ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ

В.В. Молодин

В статье отмечается, что эффективность производства бетонных работ в зимних условиях зависит от эффективности управления процессами термообработки бетона. Существующие методы управления не обеспечивают необходимого качества термообработки. Качественное управление зимним бетонированием может быть обеспечено путём синтеза таких областей знания как технология строительного производства, строительная теплофизика и математическое моделирование сложных физических и организационно-технологических процессов в сочетании с современными средствами вычислительной математики и современными информационными технологиями. Разработанные для этих целей алгоритмические диспетчеры позволяют управлять процессом на стадии проектирования как традиционными, так и нетрадиционными температурными режимами. Сравнительные расчеты и фактические данные энергозатрат при строительстве жилого дома в г. Новосибирске зимой 2011-12 года показали, что наиболее предпочтительными с точки зрения сроков приобретения прочности и расхода для этих целей электроэнергии являются управляемые режимы.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, управление температурными режимами термообработки бетона, поле температур в бетонируемой конструкции, метод математического моделирования.

Учитывая вторичный характер прочности бетона от его температуры при обязательных качественных укладке и уплотнении смеси, можно говорить об управлении твердением бетона через температурное воздействие. При этом нужно понимать, что согласно исследованиям НИИЖБ [1], повышение температуры свыше нормативных пределов, замораживание, а также превышение скорости разогрева и остывания конструкции ведут к снижению прочности вплоть до разрушения бетона. Широко известно существенное завышение расхода электроэнергии против её технически обоснованного уровня для нужд зимнего бетонирования. Всё это указывает на необходимость практического управления температурными режимами выдерживания бетона.

Управление термообработкой твердеющего бетона в оптимальном температурном диапазоне простая и давно известная операция. В свежееуложенный бетон конструкции помещается температурный датчик, который при достижении минимальной температуры включает нагреватели, а при достижении максимальной – выключает. Однако в какой точке конструкции осуществлять контроль, если уже через некоторое время после укладки температура везде разная. Ориентир

ясь на температуру в одной точке, можно перегреть или подморозить в другой.

Известно, что температура окружающего воздуха даже в течение суток изменяется в достаточно большом диапазоне. Для Новосибирской области нормативная амплитуда суточных колебаний температуры воздуха составляет $A_{t^{сут}} = 12,5^{\circ}\text{C}$ [2]. Температура может за считанные часы упасть ещё больше или наоборот подняться. Может измениться направление ветра и его скорость. В условиях стройплощадки нередки аварийные отключения электроэнергии. Всё это ведёт к недопустимым отклонениям температуры бетона от предельно допустимой и, в конечном счёте, к снижению качества бетона.

Очевидно, что процесс термообработки необходимо контролировать и управлять им в два этапа. Сначала – при подготовке бетонирования (в стадии ППР). Здесь необходимо убедиться, что при ожидаемых погодных условиях и принятом методе термообработки по всему объёму конструкции не будет нарушений благоприятного для твердения температурного режима, и бетон по всей конструкции будет уверенно набирать прочность и приобретёт её в заданные сроки. А если есть опасность нарушения температурных ограничений – изменить характер теплового воздей

ствия – поменять место расположения нагревателей, подаваемую мощность и др. Затем, в ходе реального бетонирования (в стадии производства) необходимо следить за температурным режимом во избежание перегрева или подмерзания в зависимости от изменения условий внешней среды или слишком быстрого роста – падения температур.

И в том и в другом случае, учитывая ВТОричный характер прочности от температуры, необходимо понимать, что происходит с полем температур в бетонируемой конструкции. Для выполнения этой задачи требуется технология контроля сродни компьютерной томографии в медицине. Для эффективного управления термообработкой необходимо сканировать температурные поля и поля прочности по всем сечениям конструкции с разным интервалом по времени.

Широко используемые в технике ультразвуковое и рентгеновское сканирование громоздки и возможны только на второй стадии управления. Однако во многих областях науки и техники широко используется компьютерное моделирование технологических процессов. Физические тела и их взаимосвязи заменяются математическими объектами и отношениями между ними. С помощью этих средств моделируется интересующий процесс. По окончании исследования, обратным превращением получаем результат – изменившуюся ситуацию с физическими телами. Таким образом исследуются проблемы освоения космической и авиационной техники, термоядерного синтеза...

Поставленные задачи управления зимним бетонированием могут быть решены путём синтеза таких областей знания как технология строительного производства, строительная теплофизика и математическое моделирование сложных физических и организационно-технологических процессов в сочетании с современными средствами вычислительной математики и современными информационными технологиями.

Общепринятая схема решения задачи такова [3]. Формулируется ЦЕЛЬ. С использованием положений технологии строительного производства обосновывается ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ процесса. Физическая модель формализуется в виде МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, которая состоит из краевой задачи и вспомогательных элементов, делающих её аналитически НЕразрешимой. Следующая за тем численная реализация математической модели включает в себя ЧИСЛЕННУЮ АППРОКСИМАЦИЮ дифференциального уравнения и граничных усло-

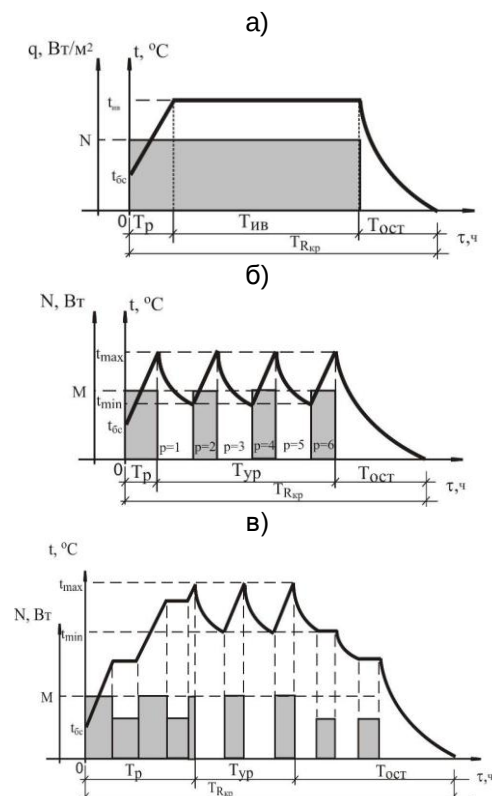
вий с выбором очередности прогонок по координатным осям, разработку укрупнённой БЛОК-СХЕМЫ и разработку ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА на алгоритмическом языке высокого уровня. Затем следует РЕШЕНИЕ с выводом результатов на дисплей или распечатка. Завершает процесс АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ, а при отладке программного продукта их сравнение с результатами натурных экспериментов.

Метод математического моделирования в отличие от решения краевых задач, решаемых аналитически, допускает введение в условия однозначности дополнительных элементов, например: алгоритмических диспетчеров, блоков компьютерной интерполяции и пр. Это открывает широкие возможности для управления термообработкой бетона. Поэтому для традиционного (неуправляемого) и управляемых режимов предложены алгоритмические диспетчеры, управляющие термообработкой на стадии проектирования. Они же и другие вспомогательные блоки могут использоваться при разработке управляющих программ для цифрового автоматического регулятора мощности, действующего в стадии производства.

Для поставленных целей, применительно к различным температурным режимам, созданы алгоритмические диспетчеры, управляющие на стадии проектирования как традиционным (рисунок 1-а), так и нетрадиционными (рисунки 1-б и 1-в) температурными режимами.

Эти алгоритмические диспетчеры использованы при разработке математических моделей и программных продуктов, широко опубликованы в печати [4, 5, 6, 7, 8]. Включённые в математическую модель технологического процесса, алгоритмические диспетчеры, в которых сформулированы и записаны математическими символами условия подачи электрической мощности в систему, позволяют управлять процессом термообработки бетона. Давать команду на включение и выключение нагревателей, расположенных в бетонируемой конструкции. Причём делают это не только при снижении температуры или при её росте свыше допустимой, но и при стремительном росте температуры или её падении. В свою очередь, тепловую мощность нагревателей находят таким образом, чтобы в период разогрева бетона до температуры изотермического выдерживания $t_{из}$ эта мощность *превышала* суммарные тепловые потери всеми гранями бетонируемой конструкции, а в период изотермического выдерживания была *равна* суммарным тепловым потерям.

УПРАВЛЯЕМЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ ВЫДЕРЖИВАНИЯ БЕТОНА – ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ



$$N = M, \tau \in T_p \wedge \tau \in T_{\text{из}}$$

$$N = 0, \tau \in T_{\text{ост}}$$

$$N = M, \tau \in T_p \vee (\tau \in T_{\text{уп}} \wedge p = 2k, k = 1, 2, \dots, S)$$

$$N = 0, \tau \in T_{\text{ост}} \vee (\tau \in T_{\text{уп}} \wedge p = 2k-1, k = 1, 2, \dots, S)$$

$$N = M, \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t}{\partial \tau} < \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}}$$

$$N = M - \Delta M, \tau \in T_p \wedge \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right) \geq \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}}$$

$$N = M - \Delta M, \tau \in T_{\text{ост}} \wedge \text{abs} \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right) < \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}}$$

$$N = 0, \tau \in T_{\text{ост}} \wedge \text{abs} \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right) \geq \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}}$$

а - традиционный температурный режим с изотермическим выдерживанием бетона; б - управляемый температурный режим тепловой обработки бетона в оптимальном температурном диапазоне; в - управляемый ступенчатый температурный режим разогрева и остывания бетона

Рисунок 1 - Традиционный (а) и управляемые (б, в) температурные режимы тепловой обработки бетона

Возможные последствия несовпадения расчетного значения и фактической температуры воздуха:

а) если фактическая температура воздуха выше ее расчетного значения, то часто скорость перестройки температурного поля после включения нагревателей превышает предельно допустимую, а в ряде случаев (при расчетной температуре изотермического выдерживания $t_{\text{из}} \geq 60^\circ\text{C}$) может иметь место и перегрев самого бетона;

б) в противоположной ситуации (фактическая температура воздуха ниже расчетной) будет существенно замедлен процесс набора прочности бетона.

Все отмеченное свидетельствует о том, что и при применении традиционного температурного режима с изотермическим выдерживанием бетона может возникнуть острая необходимость регулирования такого режима путем управления тепловой мощностью нагревателей.

Ниже, на примере зимнего бетонирования внутренней стены каркаса монолитного

здания, проведены сравнительные расчеты и фактические данные энергозатрат при строительстве жилого дома по ул. Орджоникидзе в Центральном районе г. Новосибирска зимой 2011-12 года. Расчетная схема фрагмента стены приведена на рисунке 2.

Геометрические характеристики конструкции: длина – 8700 мм; высота – 2500 мм; ширина 250 мм; толщина плиты перекрытия – 200 мм; бетон на портландцементе класса В25. Теплофизические и физико-механические характеристики бетона: коэффициент теплопроводности $\lambda_b = 2 \text{ Вт/(м·град)}$, плотность $\rho_b = 2450 \text{ кг/м}^3$, удельная теплоемкость $c_b = 0,28 \text{ Вт·ч/(кг·град)}$, расход цемента 300 кг/м^3 .

Характеристики бетонной смеси: $\lambda_{\text{см}} = 1,92 \text{ Вт/(м·град)}$, $\rho_{\text{см}} = 2400 \text{ кг/м}^3$, $c_{\text{см}} = 0,22 \text{ Вт·ч/(кг·град)}$.

Опалубка: коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{оп}} = 0,17 \text{ Вт/(м·град)}$, толщина щитов $\delta_{\text{оп}} = 0,02 \text{ м}$. Коэффициент теплопроводности рубероида $\lambda_p = 0,174 \text{ Вт/(м·град)}$, его толщина $\delta_p = 0,003 \text{ м}$.

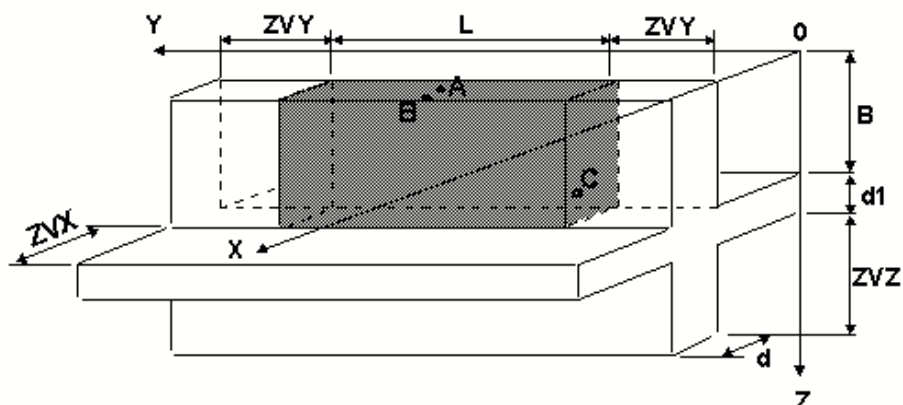


Рисунок 2 - Расчётная схема бетонирования фрагмента стены

Таблица 1 - Расчетные и фактические параметры зимнего бетонирования внутренней стены монолитного жилого дома по ул. Орджоникидзе в г. Новосибирске с термообработкой греющим проводом

№ п/п	Режим термообработки бетона	Время набора критической прочности, $T_{R70\%}$	Общие энергозатраты, кВт·ч	Удельные энергозатраты, кВт·ч/м ³
1	Изотермическое выдерживание при $t_{cp} = 50^{\circ}\text{C}$	47,75	617,41/632,8	113,54/116,32
2	Выдерживание в оптимальном температурном диапазоне $t = (40, 60^{\circ}\text{C})$	44,00	490,16/504,8	90,14/92,79
3	То же, $t = (30, 70^{\circ}\text{C})$	40,75	504,31/518,0	92,76/95,22
4	То же, $t = (45, 55^{\circ}\text{C})$	44,75	464,56/477,9	85,44/87,85

Утеплитель сверху: коэффициент теплопроводности $\lambda_y = 0,07$ Вт/(м·град), толщина $\delta_y = 0,1$ м. Расчетная температура воздуха $\Theta = -10^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 2 м/с. Интенсивность теплового потока от нагревательных проводов $q_{np} = 500$ Вт/м². В целях обеспечения качественного выполнения работ определялись: время набора бетоном критической прочности, общие и удельные энергозатраты для двух вариантов:

1) непрерывный режим тепловой обработки бетона при температуре изотермического выдерживания $t_{ue} = 50^{\circ}\text{C}$;

2) управляемый температурный режим тепловой обработки бетона при средней температуре 50°C в температурных диапазонах: $t \in (40, 60^{\circ}\text{C})$, $t \in (30, 70^{\circ}\text{C})$ и $t \in (45, 55^{\circ}\text{C})$.

Не приводя опубликованные ранее [5] графики изменения по времени средневзвешенной температуры бетона, графики нарастания прочности, а также общие и удельные энергозатраты, итоговые результаты расчетов и фактические данные сведены в таблице 1. Из таблицы видно, что наиболее предпочтительными с точки зрения сроков приобретения прочности и расхода для этих целей

электроэнергии являются управляемые режимы. При этом очевидно, что наиболее эффективны режимы с минимальным температурным диапазоном.

В числителе расчётные и в знаменателе фактические значения энергозатрат; полужирным шрифтом выделен наиболее эффективный вариант (энергосбережение 24,7% по сравнению с традиционным изотермическим выдерживанием).

Следует добавить, что за счет автоматического учета суточной динамики температуры воздуха, скорости и направления ветра экспериментально подтверждена возможность энергосбережения до 30% при гарантированном выполнении температурных ограничений СНиП 3.03.01–87*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования / С.А. Миронов. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.
2. СНиП 23–01–99. Строительная климатология. – М.: Госстрой России, 2000. – 135 с.
3. Методы решения актуальных научно-технических задач: монография / Ю.А. Попов [и

др.]. – Новосибирск: Изд-во НГАСУ (Сибстрин), 2005. – 192 с.

4. Молодин В.В. Бетонирование монолитных строительных конструкций в зимних условиях: монография / В.В. Молодин, Ю.В. Лунев. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2006. – 300 с.

5. Молодин В.В. Зимнее бетонирование строительных конструкций жилых и гражданских зданий в монолитном исполнении / В.В. Молодин, Е.К. Усинский // Изв. вузов. Строительство. – 2007. – № 6. – С. 51–60.

6. Молодин В.В. Зимнее бетонирование стыков сборных железобетонных конструкций / В.В. Молодин, Ю.В. Лунев // Изв. вузов. Строительство. – 2006. – № 11–12. – С. 44–52.

7. Молодин В.В. Ресурсо-, энергосбережение при зимнем бетонировании фундаментных плит / В.В. Молодин, Ю.В. Лунев // Изв. вузов. Строительство. – 2006. – № 8. – С. 32–42.

Молодин В.В. Управляемый температурный режим тепловой обработки бетона при зимнем бетонировании элементов монолитного каркаса жилых и гражданских зданий / В.В. Молодин, С.Н. Андриевский, Ю.В. Лунев // Изв. вузов. Строительство. – 2007. – № 7. – С. 55–64.

Молодин В.В. – д.т.н., профессор, Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия, E-mail: molodin@ngaha.ru.

УДК 728.5 (571.15)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРИБРЕЖНЫХ РЕКРЕАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В ГОРНЫХ ЛАНДШАФТАХ

Н.В. Морозова

В статье на основе обобщения опыта архитектурного формирования отечественных, региональных, зарубежных прибрежных рекреационных комплексов в горных ландшафтах проведен их сравнительный анализ по следующим параметрам: планировочная организация, вместимость, сезон эксплуатации, функции, функциональное зонирование, составлена классификация прибрежных рекреационных комплексов в горных ландшафтах.

Ключевые слова: архитектура, сравнительный анализ, отечественные и зарубежные рекреационные комплексы, горные ландшафты, прибрежные территории, планировочная организация, вместимость, сезон эксплуатации, функции, функциональное зонирование, классификация.

Прибрежные территории предгорного и горного Алтая – излюбленное место отдыха туристов. На данных территориях с каждым годом растет число рекреационных объектов и не все они отвечают требованиям сохранения природных ценностей региона, возникают проблемы сохранения уникальных прибрежных ландшафтов. А ведь именно неповторимая природа – главный рекреационный ресурс горного Алтая. Среди научных разработок, проектных материалов и книг практически отсутствуют работы, учитывающие специфику формирования прибрежных рекреационных комплексов (ПРК) в таких уникальных точках как горные ландшафты. Для решения проблем рекреационного освоения прибрежных территорий в горном Алтае актуальным становится преимущество существующих отечественных и зарубежных разработок в области рекреационной архитектуры и дополнение их с учетом региональных осо-

бенностей, что требует обобщения и интеграции значительного исходного теоретического и практического материала. В статье на основе обобщения международного опыта проведен сравнительный анализ отечественных, региональных, зарубежных прибрежных рекреационных комплексов в горных ландшафтах по следующим параметрам: планировочная организация, вместимость, сезон эксплуатации, функции, функциональное зонирование. Составлена их классификация.

Общемировая практика формирования рекреационных комплексов в горных ландшафтах свидетельствует о том, что в первую очередь осваиваются долины горных рек и озер, что ведет к формированию прибрежных рекреационных комплексов, которые в большинстве случаев занимают наиболее красивые и ценные прибрежные территории.

Изучение этапов освоения отечественных, региональных, зарубежных горных тер-