

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТРАТ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКЕ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

*МИНЕЕВ Р. А., ПИКУС Д. М.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

**Аннотация.** Производство монолитных бетонных работ при отрицательных температурах всегда связано с большими трудозатратами, чем в обычных, нормальных условиях. При возведении монолитных конструкций дополнительные капитальные вложения и затраты труда связанные с необходимостью термообработки бетона существенно повышают себестоимость и продолжительность работ по сооружению конструкций, в том числе в период набора прочности.

**Описание системы. Системный подход к монолитному бетонированию в зимних условиях.** Процесс расхода энергоресурсов при возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций в условиях отрицательных температур можно рассматривать как функционирование большой сложной вероятностной системы «Возведение монолитных бетонных и железобетонных конструкций при отрицательных температурах». Система состоит из ряда функциональных подсистем, основными из которых являются:

- подсистема приготовления бетонной смеси;
- подсистема транспортировки и укладки бетонной смеси;
- подсистема подготовки и установки опалубки;
- подсистема подготовки и установки арматуры;
- подсистема теплоизоляции прогреваемого бетона;
- подсистема обогрева бетона;
- подсистема организации и контроля тепловой обработки и остывания.

**Критерии затрат энергоресурсов.** Цель системы – обеспечение получения бетона с заданными параметрами в установленные сроки в условиях монолитного бетонирования в зимнее время.

В качестве *критерия цели* принимается величина затрат энергоресурсов, расходуемых на технологические нужды при возведении монолитных конструкций. Целевая функция системы может быть представлена в следующем виде:

$$C = Z_{пбс} + Z_r + Z_y + Z_{тбс} + Z_{по} + Z_{па} + Z_{осн} + Z_{пт} + Z_{то} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $Z_{пбс}$  – затраты энергоресурсов на подогрев воды и заполнителей для приготовления бетонной смеси;

$Z_m$  – потери тепла при транспортировке бетонной смеси;

$Z_y$  – потери тепла при укладке бетонной смеси;

$Z_{тбс}$  – затраты энергоресурсов на предварительный подогрев бетонной смеси;

$Z_{по}$  – затраты энергоресурсов на подготовку опалубки (очистка от наледи);

$Z_{па}$  – затраты энергоресурсов на подготовку арматуры (очистка от наледи);

$Z_{осн}$  – затраты энергоресурсов на подготовку (отогрев) основания, на которое укладывается бетонная смесь;

$Z_{пт}$  – затраты энергоресурсов на подъем температуры бетонной смеси;

$Z_{то}$  – затраты энергоресурсов на компенсацию теплопотерь в процессе тепловой обработки.

Каждая подсистема имеет свою локальную цель, подчиненную общей цели системы. Критерии цели каждой подсистемы могут совпадать с общим критерием цели или же выступать в виде ограничений.

**Управляемость системы и зависимость критерия эффективности от величины управляемых и неуправляемых параметров.** Управляемость системы возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций заключается в возможности изменения величины критерия эффективности при целенаправленном изменении ее отдельных управляемых параметров. Управляемыми называют параметры, которые в определенных пределах по желанию субъекта управления могут изменять свои значения, например скорость подъема температуры, термическое сопротивление теплоизоляции, продолжительность тепловой обработки, сокращение количества передаваемого бетону тепла и т. д. Неуправляемые параметры изменяют свои значения независимо от желания субъекта управления и путем воздействия на те или другие части системы изменяют

величину критерия эффективности, т. е. количество затрат энергоресурсов. Теоретически сущность управления режимом тепловой обработки и другими технологическими процессами заключается в целенаправленном изменении управляемых параметров с учетом воздействия неуправляемых для достижения поставленной цели – получения монолитных бетонных и железобетонных конструкций требуемого качества в установленные сроки с минимальными затратами энергоресурсов.

Задачей работников, занятых возведением монолитных конструкций при отрицательных температурах, является поиск резервов снижения затрат энергоресурсов в конкретных производственных условиях в разрезе каждой подсистемы.

Для более полного использования имеющихся возможностей целесообразно с этой точки зрения последовательно проанализировать подсистемы, непосредственно связанные с расходом тепла.

**Подсистема приготовления бетонной смеси.** Цель подсистемы – приготовление бетонной смеси, соответствующей требуемым качественным характеристикам. В качестве критерия эффективности принимается величина расхода энергоресурсов, необходимая для обеспечения требуемой температуры бетонной смеси на выходе из бетоносмесительной установки.

Целевая функция подсистемы

$$C_{\text{пбс}} = \mathcal{E}_{\text{кз}} + \mathcal{E}_{\text{мз}} + \mathcal{E}_{\text{в}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{кз}}$  – затраты энергоресурсов на подогрев крупного заполнителя;

$\mathcal{E}_{\text{мз}}$  – затраты энергоресурсов на подогрев мелкого заполнителя;

$\mathcal{E}_{\text{в}}$  – затраты энергоресурсов на подогрев воды.

В качестве основного ограничения принимается температура бетонной смеси на выходе из бетоносмесителя, обеспечивающая нормальные условия ее транспортировки и укладки.

$$t_{\text{бсв}} \geq \frac{t_{\text{бн}} - t_{\text{н}} \sum_{i=1}^m \Delta t_i}{1 - \sum_{i=1}^m \Delta t_i} \quad (3)$$

где  $t_{\text{бсв}}$  – температура бетонной смеси на выходе из бетономешалки;

$t_{\text{он}}$  – нормируемая температура бетонной смеси перед укладкой в опалубку или предварительным электроразогревом;

$t_n$  – температура наружного воздуха;

$\sum_{i=1}^m \Delta t_i$  – снижение температуры бетонной смеси на протяжении

технологического цикла, включающего все операции от ее получения из смесителя и заканчивая укладкой и изоляцией, а при предварительном электроразогреве – загрузкой в бункер для разогрева;

$\Delta t_j$  – снижение температуры бетонной смеси на  $j$ -й операции технологического цикла.

Основные потери тепла в этой подсистеме происходят в период загрузки бетонной смесью транспортных средств. Величина этих потерь зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- продолжительность загрузки транспортного средства;
- разность температур бетонной смеси и наружного воздуха;
- тип транспортного средства.

Для определения величины снижения температуры бетонной смеси в зависимости от комплексного воздействия указанных факторов в работе предусматривается представить при выполнении следующего этапа в виде таблиц и графиков, отражающих этот процесс в нормальных производственных условиях. В случаях значительного отличия фактических данных от приведенных в таблице и на графиках необходимо принять меры по ликвидации или уменьшению полученного разрыва.

Для этой цели могут быть приняты различные технологические и организационные решения, в т.ч.:

- сокращение времени приготовления бетонной смеси, в том числе за счет увеличения производительности бетоносмесительных устройств;
- повышение теплозащитных свойств загружаемых транспортных средств;
- принятие мер по уменьшению ветровой нагрузки на загружаемые транспортные средства;
- четкой организации процесса приготовления бетонной смеси и ее загрузки в транспортные средства.

### Подсистема транспортировки и укладки бетонной смеси.

Цель подсистемы – транспортировка и укладка бетонной смеси в опалубку. Критерий цели – потери тепла в процессе транспортировки, укладки бетонной смеси и ее изоляции. Целевая функция системы:

$$\sum_{i=1}^m \Delta t_i \rightarrow \min \quad (4)$$

Основное ограничение – потери тепла в процессе транспортировки и укладки бетонной смеси должны быть минимальными и обеспечить ее температуру не ниже расчетной ( $t_p$ ), которая для конструкций с дальнейшей тепловой обработкой должна быть не ниже чем  $0^\circ\text{C}$ , т. е.,

$$\frac{t_{\text{он}} - t_n \sum_{i=1}^m \Delta t_i}{1 - \sum_{i=1}^m \Delta t_i} - \sum_{i=1}^m \Delta t_i \geq t_p. \quad (5)$$

Подсистема включает ряд технологических операций, в процессе которых происходят затраты энергоресурсов. К таким операциям относятся:

- транспортировка бетонной смеси;
- выгрузка бетонной смеси и подача к месту укладки;
- укладка и уплотнение бетонной смеси;
- заглаживание, гидро- и теплоизоляция и (при необходимости) установка электродов.

Снижение температуры бетонной смеси в процессе ее транспортировки зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- вид транспортного средства и степень теплоизоляции перевозимой бетонной смеси;
- величина разности температуры бетонной смеси и наружного воздуха;
- продолжительность транспортировки смеси.

В зависимости от вида используемого транспортного средства потери тепла колеблются в значительных пределах. Продолжительность транспортировки смеси принимается с учетом ее скоростного

режима. В соответствии с нормативными данными для транспортировки бетонной смеси при расчетах принимается следующий режим: средняя скорость транспортирования для дорог с жестким покрытием – 30 км/ч для дорог с мягким покрытием – 15 км/ч. Наблюдения за работами по монолитному бетонированию показали, что фактическая продолжительность транспортирования бетонной смеси в условиях г. Минска отличается от расчетной. В дневное время на отдельных направлениях были случаи превышения расчетного времени транспортирования смеси на 75 %, а в вечернее и ночное время – значительное сокращение.

Подача смеси после выгрузки к месту укладки может осуществляться различными способами: нагнетательным методом по утепленному или неутепленному бетоноводу, шахтным подъемником или краном. Укладка бетонной смеси в опалубку и ее уплотнение производится послойно в соответствии с действующими нормативами. После укладки в опалубку и уплотнения бетонной смеси выполняется ряд операций, при выполнении которых также снижается температура – это заглаживание поверхности, гидро- и теплоизоляция, и установка (при необходимости) электродов.

Величину снижения температуры бетонной смеси в процессе ее транспортирования, подачи к месту укладки, укладке и уплотнению, а также заглаживанию поверхности и гидротеплоизоляции и т. д. предусматривается рассчитывать в автоматизированном режиме, для чего при выполнении следующего этапа будет разработано соответствующее программное обеспечение. В случаях значительного отличия фактических данных от расчетных, необходимо принять меры по ликвидации или уменьшению полученного разрыва. Для этой цели могут быть приняты различные технологические и организационные решения, в том числе:

- рациональный выбор и повышение теплозащитных свойств транспортных средств;
- выбор и проверка маршрута и времени транспортирования бетонной смеси;
- четкая организация работы по транспортированию и укладке бетонной смеси, исключающая простой загруженных транспортных средств.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетонные работы при отрицательных температурах воздуха. Правила производства (02250): ТКП 45-5.03-21-2006.
2. Лысов, В.П. Организационно-технологическое совершенствование возведения монолитных конструкций в зимний период, обеспечивающее сокращение сроков строительства и снижение затрат / В.П. Лысов, Н.М. Голубев [и др.] // Строительная наука и техника. – 2007. – № 1. – С. 48–54.
3. Лысов В.П., Голубев Н.М., Пикус Д.М., Кривицкая Т.В. Организационно-технологическое совершенствование возведения монолитных конструкций в зимний период, обеспечивающее сокращение сроков строительства и снижение затрат // Строительная наука и техника. – 2007. – № 1. – С. 48–54.
4. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / Под редакцией Б.А. Крылова, С.А. Амбарцумяна [и др.] // – М.: РААСН, НИИЖБ. – 2005. – 275 с.
5. Минеев Р.А., Пикус Д.М. Системный подход к проблеме затрат энергоресурсов при возведении монолитных конструкций в зимних условиях // Минск: БНТУ, 2013. Сборник научно-технических статей (материалы научно – методического семинара), 22–23 мая 2013 г. «Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства». Часть 1. – С. 240–249.
6. Минеев Р.А., Пикус Д.М., Баранов С.П. Моделирование расхода энергоресурсов при тепловой обработке монолитного бетона в зимних условиях // Минск: БНТУ, 2014. Сборник международных научно - технических статей (материалы научно – методической конференции), 27 – 28 мая 2014 г. «Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства». Часть 1. – С. 213–218.