

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

**ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
СТАНДАРТОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 22–23.05.2013)

УДК 693.55.033.13

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ЗАТРАТ
ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ МОНОЛИТНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ**

МИНЕЕВ Р.А. , ПИКУС Д.М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

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 в зимних условиях». 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.

Целью системы является обеспечение получения бетона с заданными параметрами в установленные сроки в условиях монолитного бетонирования в зимнее время [2],[3],[4].

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

$$C = Z_{\text{пбс}} + Z_m + Z_y + Z_{\text{мбс}} + Z_{\text{по}} + Z_{\text{па}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{пт}} + Z_{\text{то}} \rightarrow \min, (1)$$

где $Z_{\text{пбс}}$ – затраты энерго-ресурсов на подогрев воды и заполнителей для приготовления бетонной смеси; Z_t – потери тепла при транспортировке бетонной смеси; Z_y – потери тепла при укладке бетонной смеси; $Z_{\text{мбс}}$ – затраты энерго-ресурсов на предварительный подогрев бетонной смеси; $Z_{\text{по}}$ – затраты энерго-ресурсов на подготовку опалубки (очистка от наледи); $Z_{\text{па}}$ – затраты энерго-ресурсов на подготовку арматуры (очистка от наледи); $Z_{\text{осн}}$ – затраты энерго-ресурсов на подготовку (отогрев) основания, на которое укладывается бетонная смесь; $Z_{\text{пт}}$ – затраты энерго-ресурсов на подъём температуры бетонной смеси; $Z_{\text{то}}$ – затраты энерго-ресурсов на компенсацию теплопотерь в процессе тепловой обработки.

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

Управляемость системы возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций заключается в возможности изменения величины критерия эффективности при целенаправленном изменении её отдельных управляемых параметров. Управляемыми называют параметры, которые в определённых пределах по желанию субъекта управления могут изменять свои значения, например скорость подъёма 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 путём воздействия на те или другие части системы изменяют величину критерия эффективности, т.е. количество затрат энерго-ресурсов. Теоретически сущность управления режимом тепловой обработки и другими технологическими процессами заключается в

целенаправленном изменении управляемых параметров с учётом воздействия неуправляемых для достижения поставленной цели – получения монолитных бетонных и железобетонных конструкций требуемого качества в установленные сроки с минимальными затратами энергоресурсов. В каждой из подсистем имеются управляемые параметры, воздействие на которые влияют на критерий эффективности.

Задачей работников, занятых возведением монолитных конструкций в зимних условиях, 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.

Целью подсистемы приготовления бетонной смеси является соответствие 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:

$$Cпбс = Э_{кз} + Э_{мз} + Э_в \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $Э_{кз}$ – затраты энергоресурсов на подогрев крупного заполнителя; $Э_{мз}$ – затраты энергоресурсов на подогрев мелкого заполнителя; $Э_в$ – затраты энергоресурсов на подогрев воды.

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

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

где $t_{бсв}$ – температура бетонной смеси на выходе из бетономешалки; $t_{бн}$ – 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 её получения из смесителя и заканчивая укладкой и

изоляции, а при предварительном электроразогреве – загрузкой в бункер для разогрева; Δt_i – снижение температуры бетонной смеси на i -й операции технологического цикла.

В качестве ограничений выступает также температура воды затворения и бетонной смеси на выходе из смесителя. В зависимости от используемого цемента ограничения составят:

- для бетонной смеси на портландцементе, шлакопортландцементе и пуццолановом портландцементе марок ниже М600

$$t_{вз} \leq 70 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (4)$$

$$t_{бсв} \leq 35 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (5)$$

где $t_{вз}$ – температура воды затворения бетонной смеси; $t_{бсв}$ – температура бетонной смеси на выходе из смесителя.

- для бетонной смеси на быстротвердеющем портландцементе и портландцементе марки М600 и выше

$$t_{вз} \leq 60 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (6)$$

$$t_{бсв} \leq 30 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

- для бетонной смеси на глинозёмистом портландцементе

$$t_{вз} \leq 40 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (8)$$

$$t_{бсв} \leq 25 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (9)$$

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

- сокращение времени приготовления бетонной смеси, в т.ч. за счёт 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 её загрузки в транспортные средства.

Целью подсистемы транспортировка и укладка бетонной смеси в опалубку являются потери тепла в процессе транспортировки, укладки бетонной смеси и её изоляции. Целевая функция системы:

$$\sum_{i=1}^m \Delta t_i \rightarrow \min \quad (10)$$

Основное ограничение – потери тепла в процессе транспортировки и укладки бетонной смеси должны быть минимальными и обеспечить её температуру не ниже расчётной (t_p), которая для конструкций с дальнейшей тепловой обработкой должна быть не ниже чем 0 °С, т.е.,

$$\frac{t_{\text{бн}} - t_n \sum_{i=1}^m \Delta t_i}{1 - \sum_{i=1}^m \Delta t_i} - \sum_{i=1}^m \Delta t_i \geq t_p \quad (11)$$

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, гидротеплоизоляция и (при необходимости) установка электродов.

Снижение температуры бетонной смеси в процессе её 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 учётом её скоростного режима. В соответствии с нормативными данными для транспортировки бетонной смеси при расчётах принимается следующий режим: средняя скорость транспортирования для дорог с жестким покрытием – 30 км/ча 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 расчётной. В дневное время на отдельных направлениях были случаи превышения расчётного 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 неутеплённому бетоноводу, шахтным подъёмником или краном. Укладка бетонной смеси в опалубку и её 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, гидротеплоизоляция и установка (при необходимости) электродов.

Величину снижения температуры бетонной смеси в процессе её 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 расчётных, необходимо принять меры по ликвидации или уменьшению полученного разрыва. Для этой цели могут быть приняты различные технологические и организационные решения, в т.ч.:

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

Целью подсистемы установка опалубочных систем является обеспечение требуемых геометрических параметров бетонных и железобетонных конструкций, технологичность укладки бетона, его тепловой обработки и контроля процесса твердения. В качестве критерия эффективности принимается величина расхода энергоресурсов на подготовку опалубки. Целевая функция подсистемы:

$$C = Z_{по} + Z_{noc} \rightarrow \min, \quad (12)$$

где Z_{noc} – затраты энергоресурсов на отопление грунтового основания (подготовки), бетона, стыков.

Затраты энергоресурсов на подготовку опалубки касаются, в первую очередь, их расход на очистку от снега и наледи. Эти затраты могут быть сокращены путём надлежащего складирования элементов и укрытия установленной опалубки.

Целью подсистемы укладка арматуры в соответствии с проектной документацией и, при необходимости, с одновременной установкой элементов нагревателей, например греющего провода является величина затрат энергоресурсов на очистку арматуры от наледи. Целевая функция подсистемы:

$$C = Z_{на} \rightarrow \min. \quad (13)$$

Затраты энергоресурсов необходимы для очистки арматуры от снега и наледи. Кроме того, в соответствии с [1] бетонирование густоармированных конструкций с арматурой диаметром более 24 мм, арматурой из жестких прокатных профилей или с крупными металлическими закладными частями следует выполнять с предварительным отоплением металла до положительной температуры.

Целью подсистемы подвод тепла для подъёма температуры и тепловой обработки монолитных бетонных и железобетонных конструкций являются затраты энергоресурсов, необходимые и достаточные для подъёма температуры и тепловой обработки изделий. Целевая функция подсистемы представляется в виде:

$$C = Z_{\text{нбс}} - Z_3 + Z_{\text{на}} + Z_{\text{нив}} + Z_0 + Z_{\text{кн}} + Z_{\text{ипч}}\tau \rightarrow \min, \quad (14)$$

где $Z_{\text{нбс}}$ – затраты энергоресурсов на нагрев бетонной смеси; Z_3 – снижение расхода энергоресурсов за счёт тепла, выделяемого в результате гидратации цемента при экзотермических реакциях; $Z_{\text{на}}$ – затраты энергоресурсов на нагрев арматуры; $Z_{\text{нив}}$ – затраты энергоресурсов на испарение влаги в процессе подъема температуры; Z_0 – затраты энергоресурсов на нагрев опалубочной системы (совместно с теплоизоляцией); $Z_{\text{кн}}$ – затраты энергоресурсов на компенсацию потерь тепла в окружающую среду в процессе подъема температуры; $Z_{\text{ипч}}$ – затраты энергоресурсов на компенсацию потерь тепла в окружающую среду в процессе тепловой обработки (изотермического прогрева) в течение одного часа; τ – время тепловой обработки (изотермического прогрева).

Основными ограничениями подсистемы являются:

Скорость подъема температуры при тепловой обработке бетона для конструкций с модулем поверхности $M_n \leq 4 \text{ м}^{-1}$

$$V_t \leq 5 \text{ }^\circ\text{C/ч}; \quad (15)$$

для конструкций с модулем поверхности $\geq 4 \text{ м}^{-1}$ $M_n \leq 10 \text{ м}^{-1}$

$$V_t \leq 10 \text{ }^\circ\text{C/ч}; \quad (16)$$

- для конструкций с модулем поверхности $M_n \geq 10 \text{ м}^{-1}$ и бетонированных в скользящих опалубках

$$V_t \leq 15 \text{ }^\circ\text{C/ч}; \quad (17)$$

- для стыков

$$V_t \leq 20 \text{ }^\circ\text{C/ч}. \quad (18)$$

Температура тепловой обработки (прогрева) бетонной смеси не должна превышать следующих величин:

- для бетона на портландцементе

$$t_n \leq 80 \text{ }^\circ\text{C}; \quad (19)$$

- для бетона на шлакопортландцементе

$$t_n \leq 90 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (20)$$

Цель подсистемы – сокращение теплотерь в процессе подъема температуры и тепловой обработки монолитных конструкций являются затраты энергоресурсов на компенсацию потерь тепла в

процессе подъёма температуры и тепловой обработки. Целевая функция подсистемы

$$C = Z_{\text{кн}} + Z_{\text{инт}} \rightarrow \min, \quad (21)$$

где $Z_{\text{кн}}$ – затраты энергоресурсов на компенсацию потерь тепла в окружающую среду в процессе подъёма температуры; $Z_{\text{инт}}$ – затраты энергоресурсов на компенсацию потерь тепла в окружающую среду в процессе тепловой обработки (изотермического прогрева).

Целью подсистемы организация работ по возведению монолитных бетонных и железобетонных конструкций при отрицательных температурах наружного воздуха, контроль и регулирование режимов тепловой обработки и остывания является расход энергоресурсов в процессе тепловой обработки. Целевая функция подсистемы:

$$C = Z_{\text{инт}} + Z_{\text{от}} \rightarrow \min, \quad (22)$$

где $Z_{\text{инт}}$ – затраты энергоресурсов на тепловую обработку бетона после достижения нормативной величины температуры в контрольных точках; $Z_{\text{от}}$ – затраты энергоресурсов на тепловую обработку бетона после достижения бетоном требуемых прочностных показателей.

Основными ограничениями подсистемы являются:

- скорость остывания бетона по окончании тепловой обработке ($V_{\text{то}}$) для конструкций с модулем поверхности $M_n \leq 4 \text{ м}^{-1}$ определяется специальным расчётом ($V_{\text{топ}}$)

$$V_{\text{то}} \leq V_{\text{топ}} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{ч}; \quad (23)$$

- для конструкций с модулем поверхности $\geq 4 \text{ м}^{-1}$ $M_n \leq 10 \text{ м}^{-1}$

$$V_t \leq 5^\circ\text{C}/\text{ч}; \quad (24)$$

- для конструкций с модулем поверхности $M_n \geq 10 \text{ м}^{-1}$

$$V_t \leq 10^\circ\text{C}/\text{ч}. \quad (25)$$

Таким образом в системе можно выделить большое количество ограничений, оказывающих заметное влияние на её функционирование и, соответственно, на принятые критерии эффективности. В каждом конкретном случае ограничения устанавливаются на основе изучения фактических условий ее функционирования. Наиболее характерными ограничениями в рассматриваемой системе являются:

- ограничения, связанные с возможностью использования различных видов энергоресурсов по их номенклатуре и количеству;

- ограничения финансовых ресурсов на приобретение;
- временные ограничения (ограничения во времени);
- ограничения параметров температурно–влажностного режима твердеющего бетона;
- ограничения трудовых ресурсов (ограничения в рабочей силе);
- ограничения транспортных ресурсов (ограничения в использовании транспортных средств, машин, механизмов, специального технологического оборудования, средств малой механизации и других энергопотребляющих устройств);
- ограничения, зафиксированные в проектно–сметной документации;
- ограничения, связанные с обеспечением требуемых санитарно–гигиенических и безопасных условий труда и охраны окружающей среды;
- ограничения, накладываемые действующими нормативно–техническими документами, правовыми актами и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

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.