ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ – МЕТОД ТЕРМОСА

RESEARCH OF THE WINTER CONCRETING METHOD – THERMOS METHOD

УДК 693.547.34

Павлихина Валентина Юрьевна, магистрант кафедры организации строительства, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Pavlikhina V.Y. Master student of the Department of Construction Management, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg valya-pavlikhina@mail.ru

Аннотация

Метод термоса – один из основных методов выдерживания бетона, наиболее эффективный и, как правило, наиболее экономичный способ зимнего бетонирования. Суть технологии зимнего бетонирования методом термоса сводится к изотермии не за счет прогрева, а за счет сохранения внутреннего тепла бетона, а также тепла, выделяемого при твердении бетона.

В данном исследовании рассмотрены особенности и виды метода зимнего бетонирования - термос, выявлены основные показатели при бетонировании данным методом. Также, представлены формулы для расчета основных параметров термосного выдерживания с учетом различных противоморозных добавок и видов выдерживания бетона.

Annotation

The thermos method is one of the main methods of concrete aging, the most effective and, as a rule, the most economical method of winter concreting. The essence

of the technology of winter concreting by the thermos method is reduced to isothermy not due to heating, but due to the preservation of the internal heat of concrete, as well as the heat released during the hardening of concrete.

In this study, the features and types of the method of winter concreting - thermos are considered, the main indicators for concreting by this method are identified. Also, formulas for calculating the main parameters of thermos holding taking into account various antifreeze additives and types of concrete holding are presented.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, метод «термоса», отрицательная температура, бетонирование.

Keywords: winter concreting, the «thermos» method, negative temperature, concreting.

Непрерывное увеличение объема монолитного строительства в зимних условиях, и в особенности на Севере и Востоке страны, где зимний период длится более 6 месяцев, а температура наружного воздуха в отдельных случаях снижается до минус 50°С, вызывает необходимость обеспечения при зимнем бетонировании надлежащих условий для твердения бетона и предохранения его от замерзания.

Одним из основных методов выдерживания бетона, наиболее эффективным и экономичным, является метод термоса. Именно поэтому его целесообразно применять в первую очередь при возведении монолитных конструкций в зимних условиях.

Метод термоса обычно следует применять при производстве бетонных и железобетонных работ в зимних условиях при среднесуточной температуре наружного воздуха ниже 5°С и минимальной ниже 0°С при наличии проектов (или технологических карт) производства работ.

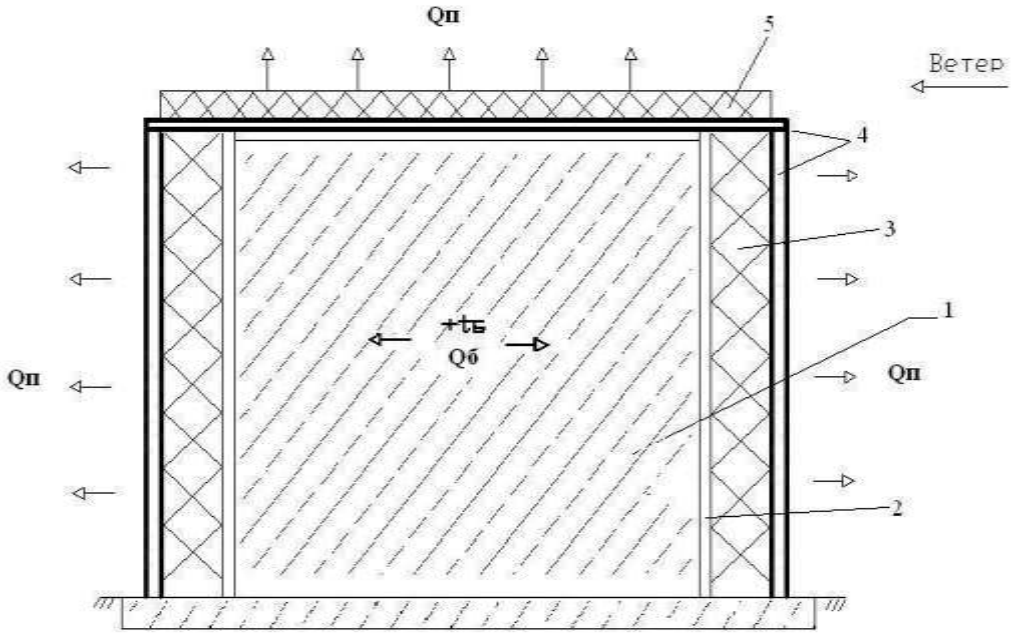
Сочетание метода термоса с другими способами интенсификации твердения бетона позволяет расширить границы его применения в построечных условиях при возведении конструкций с модулем поверхности до 15 $м^{-1}$ и температуре наружного воздуха до минус 40°С.

Суть технологии зимнего бетонирования методом термоса сводится к изотермии не за счет прогрева, а за счет сохранения внутреннего тепла бетона, а также тепла, выделяемого при твердении бетона. Соответственно, для этого необходимо сначала нагреть раствор до допустимых температур, а затем залить его в максимально термоизолированную двойную опалубку. На рис.1 показана принципиальная схема на выдерживание бетона конструкции методом термоса.

Так называемый термос может создаваться из различных материалов, главное требование к ним — это хорошее удержание тепла. Температуру и утеплитель подбирают таким образом, чтобы залитый бетон набрал необходимый процент от проектной прочности (в районе 60%) до того момента, когда его температура опуститься ниже 0°С. Таким образом, вода из раствора не будет замерзать, и реакция гидролиза пройдет полностью.

По предварительно проведенным расчетам и прогнозам температуры окружающего воздуха, подбирают материал для утепления и толщину слоя укладки. Метод термоса применим для конструкций с модулем поверхности до 8 $м^{-1}$ для портландцементов средней активности, и до 10–15 $м^{-1}$ для бетонов с химическими добавками – ускорителями твердения.

В качестве утеплителей применяют доски и фанеру с прокладкой из пенопласта, картон, опилки, шлаковату, а также многие другие современные утеплители с необходимыми параметрами.



1 – бетон; 2 – опалубка; 3 – утеплитель; 4 – паро-влагопроницаемый слой; 5 – утеплитель для неопалубленной поверхности

Рис. 1. Принципиальная схема на выдерживание бетона конструкции методом термоса

Общий запас тепла в бетоне должен соответствовать его потерям при остывании конструкции (при соответствующем утеплении) до набора бетоном заданной критической прочности.

Таким образом, в бетоне должно соблюдаться термодинамическое равновесие согласно которому $Q_б = Q_п$, но так как такое равновесие невозможно из-за малого восполнения теряемого тепла за счет экзотермии цемента, то основной задачей является подобрать утеплитель, чтобы впоследствии бетон набрал необходимое значение прочности в заданное время. На рис. 2 представлена схема нарастания прочности бетона со временем при изменении температуры вплоть до набора бетоном критической прочности.

Температурный режим и прочность бетона в конструкции определяются по контрольной точке, расположенной на глубине 50 мм в центре охлаждаемой конструкции.

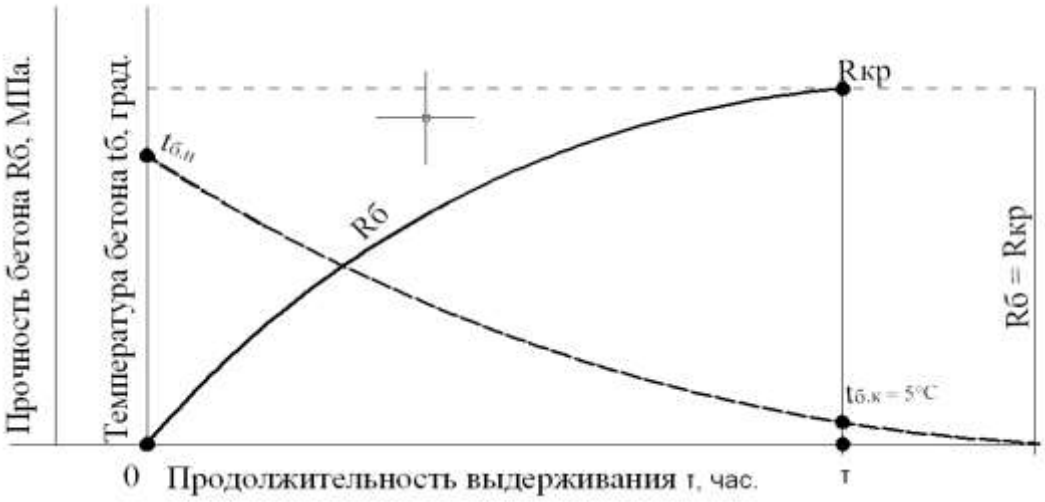


Рис. 2. График нарастания прочности бетона в зависимости от времени остывания при данной начальной температуре

Существует три вида термоса:

- обычный «термос»;
- метод «горячего термоса»;
- термос с ускорителями твердения.

Обычный «термос» используется при укладке бетонной смеси в опалубку с начальной температурой ($t_{б.н}$) 15–35°С. Этот метод основан на использовании тепла, вводимого в бетон путем прогрева материалов или бетонной смеси до ее укладки в опалубку, и экзотермического тепла, выделяемого цементом в процессе твердения бетона.

Метод «горячего термоса» заключается в кратковременном форсированном электроразогреве бетонной смеси непосредственно перед укладкой и последующем выдерживании уложенного бетона без обогрева по методу «термоса». Метод позволяет отказаться от высоких температур заполнителей на бетонном заводе и ограничится только их оттаиванием, увеличить дальность и длительность транспортирования бетонной смеси на морозе, не опасаясь её остывания до температуры 5°С (перед нагревом), обеспечить высокую (до 60–80°С) начальную температуру бетона при укладке и тем самым применить метод «термоса» для конструкций с $M_п \approx 15 м^{-1}$. Расчет возможности применения

метода «горячего термоса» следует вести по формулам метода «термоса» лишь изменяя начальную температуру бетонной смеси.

Смесь приготовляют на среднеаллюминатном портландцементе с содержанием трёхкальциевого алюмината не более 6–7 % и с подвижностью 6–8 см. Смесь в течении 7–15 мин нагревают до температуры 70–80°С и после этого быстро укладывают в утепленную опалубку. При этом уложенный бетона имеет начальную температуру 60–70°С и, следовательно, остывает в течении более продолжительного времени и при более высокой средней температуре, что обеспечивает получение более высоких прочностных характеристик бетона к моменту его замерзания.

«Термос» с применением противоморозных добавок. Одной из разновидностей метода «термоса» является бетонирование в зимних условиях с применением бетонов, твердеющих при отрицательных температурах. Этот метод заключается в использовании смесей с химическими добавками, понижающими температуру замерзания жидкой компоненты бетонной смеси, обеспечивающими твердение бетона при температуре ниже 0°С и таким образом увеличивающими время, в течении которого бетон может набирать прочность.

В качестве добавок к методу «термоса» рекомендованы: углекислый калий-поташ ($К_2СО_3$), нитрит натрия ($NaNO_2$), хлорид кальция ($CaCl_2$), хлорид натрия (NaCl), нитрит кальция – мочевина (НКМ), аммиачная вода (ННХКМ), сода-поташ-пластификатор (СПП).

Укладку и уплотнение бетонных смесей с противоморозными добавками осуществляют обычными методами. При небольших объемах и невысоких скоростях строительства использование добавок в ряде случаев целесообразно. Однако, как основной метод без дополнительного прогрева бетона он неэффективен, особенно при возведении зданий с монолитными перекрытиями и широким шагом несущих стен. Основным недостатком этого метода является низкая скорость набора прочности бетоном и невысокий темп оборачиваемости опалубки. Кроме того, некоторые добавки (например, ускорители твердения –

хлористые соли) ухудшают качество поверхности возводимых конструкций из-за появления высолов.

Применение противоморозных добавок имеет значительные ограничения, так, как они не допускаются при бетонировании пред-напряженных конструкций; конструкций, подвергающихся воздействию динамических нагрузок; конструкций, эксплуатируемых при влажности воздуха более 60%, при температуре более 60°С, соприкасающихся с агрессивными водами, находящихся в непосредственной близости к источникам тока высокого напряжения (до 100 м); монолитных дымовых и вентиляционных труд и градирен.

Расчет основных параметров термосного выдерживания

Расчет выполняется для практических целей по методу Б.Г. Скрамтаева с уточнениями С.А. Миронова с достаточной надежностью для конструкций с $М_П$ от 3 до 8 $м^{-1}$, принимая во внимание новые материалы утеплителя. Расчет позволяет определить прогнозируемое время остывания бетона и соответствующую прочность бетона по графикам, а также установить конструкцию опалубки и теплоизоляции. В основу расчета положена зависимость между начальным теплосодержанием бетонной смеси, уложенной в конструкцию с учетом тепловыделения и теплопотерь в окружающую среду при остывании бетона в стационарном тепловом потоке и потерь тепла на нагрев опалубки и арматуры. Расчетом учитывается также изменение термического сопротивления опалубки в зависимости от скорости ветра.

$$Q_П = Q_{б.н.} + Q_Ц, \quad (1)$$

где $Q_П$ - теплопотери через опалубку и утеплитель, кДж; $Q_{б.н}$ – начальное теплосодержание бетона, кДж; $Q_Ц$ – количество теплоты, выделившееся в следствии экзотермии цемента, кДж.

В свою очередь составляющие данной формулы вычисляются следующим образом:

$$Q_П = 3{,}6 \times М_П \times \tau \times (t_{б.ср.} - t_{н.в.}) \times K, \quad (2)$$

где $М_П$- модуль поверхности конструкции, $м^{-1}$; τ – время выдерживания бетона, ч; $t_{н.в}$ – температура наружного воздуха, °С; $t_{б.ср}$ – средняя температура твердения бетона, °С; K – коэффициент теплопередачи опалубки и утеплителя, $Вт/(м^2 х\ °С)$.

$$Q_{б.н.} = C_б \times q_б \times (t_{б.н.} - t_{б.к.}), \quad (3)$$

где $С_б$ - Удельная теплоемкость бетона, кДж/(кг*°С); $q_б$ - плотность бетона, $кг/м^3$; $t_{б.к}$ – температура бетона к концу остывания, °С; $t_{б.н}$ – температура уложенного бетона, °С.

$$Q_Ц = Ц \times Э, \quad (4)$$

где Ц – расход цемента,$кг/м^3$; Э – величина экзотермии цемента за время твердения, кДж.

Получаем формулу термодинамического равновесия в бетоне:

$$3,6 \times M_П \times \tau \times (t_{б.ср} - t_{н.в.}) \times K = C_б \times q_б \times (t_{б.н.} - t_{б.к.}) + Ц \times Э, \quad (5)$$

И, следовательно, продолжительность остывания бетона определяется по формуле:

$$\tau = \frac{C_б \times q_б \times (t_{б.н.} - t_{б.к.}) + Ц \times Э}{3,6 \times M_П \times (t_{б.ср} - t_{н.в.}) \times K}, \quad (6)$$

Таким образом, для проведения расчета необходимы следующие исходные данные: размеры конструкции, расход арматуры на $1м^3$ бетона, вид и класс бетона, вид и активность цемента и его расход на $1м^3$ бетона, температура наружного воздуха, скорость ветра, начальная температура бетонной смеси и конструкция опалубки. При выдерживании бетона по методу термоса решают, как правило, две задачи: расчет времени остывания, расчет необходимого утеплителя.

Последовательность расчета «обычного термоса» состоит в следующем:

Расчет времени остывания бетона, необходимого для набора им критической прочности.

1) Определяется модуль поверхности конструкции $М_п$ по формуле:

$$M_П = \frac{\sum F}{V}, \quad (7)$$

где V – Объем конструкции, $м^3$; $\sum F$– Суммарная площадь поверхности конструкции.

Начальная температура бетона с учетом нагрева арматуры:

$$t_{б.н.а} = \frac{C_б \times \gamma_б \times t_{б.н.} + C_а \times P_а \times t_{н.в.}}{C_б \times \gamma_б + C_а \times P_а}, \quad (8)$$

где $C_б$ и $C_а$ - удельная теплоемкость бетона и арматуры, кДж/(кг °С); $P_а$ - расход арматуры, кг/м^3; $\gamma_б$ - средняя плотность бетона, кг/м$^{3.}$.

2) Находят среднюю температуру его твердения ($t_{б.ср}$), при которой можно получить требуемую величину прочности за заданное время (τ) по формуле:

$$t_{б.ср} = t_{б.к.} + \frac{t_{б.н.а} - t_{б.к.}}{1,03 + 0,181 \times M_П + 0,006 \times (t_{б.н.а} - t_{б.к.})}, \quad (9)$$

Для соблюдения этого условия определяют (ориентировочно) для выбранной предварительно по табл. 1, 2 конструкции опалубки и утеплителя с соответствующим коэффициентом теплопроводности, а также стандартные, наиболее часто используемые конструкции опалубок с утеплителем в табл. 3.

Таблица 1 – Коэффициенты теплопроводности материалов опалубки

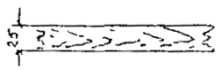
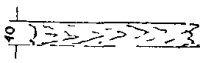
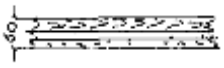
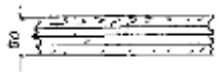
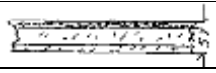
№	Материал опалубки	Коэффициент теплопроводности материала λ, Вт/(м °С)
1	Доска хвойная	0.093
2	Доска лиственная	0.104
3	Фанера клеенная	0.116
4	Сталь	52
5	Железо	74.4

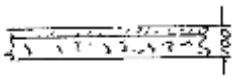
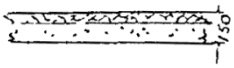
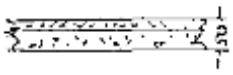
Таблица 2 – Коэффициенты теплопроводности материалов утеплителя

№	Материал утеплителя	Коэффициент теплопроводности материала λ, Вт/м°С
1	Стеклянная вата	0,05
2	Древесные опилки	0,069
3	Шлак котельный	0,35
4	Оргалит	0,06

5	Минеральная вата	0,04
6	Пенополистирол (несъемный)	0,036
7	Изолон ППЕ	0,036
8	Шпательное стекловолокно (Ursa)	0,042
9	ПСБ-С 25Ф	0,038
10	Снег рыхлый, сухой	0,29
11	Пеноплекс	0,30
12	Пенополистирол	0,038
13	Пенополиуретан	0,034

Таблица 3 – Коэффициенты теплопроводности материалов конструкции опалубки и утеплителя

Тип опалубки	Конструкции опалубки	Материал опалубки	Толщина слоя, мм	Коэффициент К, Вт/м^2·°С при скорости ветра, м/с		
				0	5	15
1		Доска	25	2,44	5,2	5,98
2		Доска	40	2,03	3,6	3,94
3		Доска Толь Доска	25 - 25	1,8	3	3,25
4		Доска Пенопласт Фанера	25 30 4	0,67	0,8	0,82
5		Доска Толь Вата минеральная Фанера	25 - 50 4	0,87	1,07	1,1
6		Металл	3	1,02	1,27	1,33

Тип опалубки	Конструкции опалубки	Материал опалубки	Толщина слоя, мм	Коэффициент К, Вт/м^2·°С при скорости ветра, м/с		
				0	5	15
		Вата минеральная Фанера	50 4			
7		Фанера Асбест Фанера	10 4 10	2,44	5,1	5,8
8		Толь Опилки	- 100	0,74	0,89	0,9
9		Толь Шлак	- 150	1,27	1,77	1,87
10		Толь Вата минеральная	- 50	1,01	1,31	1,37

3) Затем вычисляют общий коэффициент теплопередачи опалубочной системы и утеплителя:

а) Рассчитывается коэффициент теплопередачи опалубочной системы по следующей формуле:

$$K_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \sum_{i=1}^{i} \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \qquad (10)$$

где α_k – коэффициент соответствующей скорости ветра, определяемый по табл. 4; σ_i – толщина соответствующего материала опалубки или утеплителя, м; λ_i – коэффициент теплопроводности материала опалубки или утеплителя, Вт/(м ∗ °С).

Таблица 4 – Коэффициент теплоотдачи опалубки конвекцией α_k

Скорость ветра, м/с	α_k, Вт/(м °С)
0	3.77
1	3.88

3	14.96
5	26.56
10	33.18
15	43.15

b) По аналогичной формуле рассчитывается коэффициент теплопередачи утеплителя для не опалубленной поверхности конструкции по следующей формуле:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \sum_{i=1}^{i} \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad (11)$$

c) Необходимо суммировать теплопотери через все поверхности, определив тем самым общий коэффициент теплопередачи опалубки и утеплителя конструкции по формуле:

$$K_2 = \frac{F_1 \times K_0 + F_2 \times K_0 + \ldots + F_3 \times K_y + F_n \times K_0}{F_1 + F_2 + \ldots + F_n}, \quad (12)$$

где F_1, F_2, F_n – площади поверхности конструкции, $м^2$; K_o, K_y, K_n – коэффициенты теплопередачи материалов опалубки и утеплителя, $Вт/м°С$.

4) По формуле (6) определяем продолжительность остывания конструкции до конечной температуры при заданных условиях.

5) Сравниваем полученное значение времени остывания бетона с табличным значением продолжительности выдерживания до набора критической прочности.

6) Если полученная величина продолжительности остывания не будет соответствовать времени до набора бетоном критической прочности, то следует:

–изменить материалы опалубки и утеплителя, или их конструкцию;

–оградить конструкцию от ветра.

Расчет конструкции опалубки для обеспечения набора бетоном критической прочности к моменту остывания конструкции.

1) По формуле (7) определяется модуль поверхности конструкции:

$$M_{\text{П}} = \frac{\sum F}{V},$$

2) По формуле (8) вычисляется начальная температура бетона с учетом нагрева арматуры:

$$t_{\text{б.н.а}} = \frac{C_{\text{б}} \times \gamma_{\text{б}} \times t_{\text{б.н.}} + C_{\text{а}} \times P_{\text{а}} \times t_{\text{н.в.}}}{C_{\text{б}} \times \gamma_{\text{б}} + C_{\text{а}} \times P_{\text{а}}},$$

3) Находят среднюю температуру его твердения ($t_{\text{б.ср.}}$) по формуле (9)

$$t_{\text{б.ср}} = t_{\text{б.к.}} + \frac{t_{\text{б.н.а}} - t_{\text{б.к.}}}{1,03 + 0,181 \times M_{\text{П}} + 0,006 \times (t_{\text{б.н.а}} - t_{\text{б.к.}})},$$

4) В зависимости от заданной продолжительности остывания (τ) и средней температуры твердения бетона ($t_{\text{б.ср}}$), выбирается величина экзотермии цемента (Э);

5) Рассчитывается необходимый коэффициент теплопередачи опалубки и утеплителя по формуле:

$$K_1 = \frac{C_{\text{б}} \times q_{\text{б}} \times (t_{\text{б.н.}} - t_{\text{б.к.}}) + \text{Ц} \times \text{Э}}{3,6 \times M_{\text{П}} \times (t_{\text{б.ср}} - t_{\text{н.в.}}) \times \tau}, \qquad (13)$$

где $C_{\text{б}}$ - Удельная теплоемкость бетона, кДж/(кг ∗ °С); $q_{\text{б}}$ - плотность бетона, кг/м^3; $t_{\text{б.к}}$ – температура бетона к концу остывания, °С; $t_{\text{б.н}}$ – температура уложенного бетона, °С; $M_{\text{п}}$ - модуль поверхности конструкции, м$^{-1}$; τ – время выдерживания бетона, ч; $t_{\text{н.в}}$ – температура наружного воздуха, °С; Ц – расход цемента, кг/м^3; Э – величина экзотермии цемента за время твердения, кДж.

a) По таблице 1 ориентировочно назначаем материалы опалубки, по таблице 2 материалы утеплителя.

b) Рассчитываем коэффициенты теплопередачи опалубочной системы по формуле (10) и утеплителя (11), после чего определяем суммарный коэффициент теплопередачи опалубочной системы и утеплителя конструкции (12), тем самым определив величину $К_{2.}$.

c) Если величина полученного коэффициента теплопередачи $К_2$ меньше требуемой $К_1$, то рассчитываем необходимую величину слоя теплоизоляции для данной опалубочной системы по формуле:

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \times (\frac{1}{K_2} - (\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_i}{\lambda_i})), \quad (14)$$

где $\sigma_{из}$ – толщина материала утеплителя, м; $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности материала утеплителя, Вт/м°С; $\lambda_{1,2,i}$ – соответственно коэффициент теплопроводности материалов опалубки; $\sigma_{1,2,i}$ – величины толщины материалов опалубки, м.

Последовательность расчета для метода термоса с применением противоморозных добавок состоит в следующем:

1) Если добавка поставляется в твердом или порошкообразном виде, то следует рассчитать раствор рабочей концентрации, по формуле:

$$Р_Д = Р_В \times Д, \quad (15)$$

где $Р_в$ – расход воды для затворения бетонной смеси, л/м^3; Д – содержание сухого вещества (твердого продукта) противоморозной добавки в 1 л водного раствора заданной концентрации в зависимости от требуемой температуры замерзания воды, кг/л.

2) Основной задачей при использовании метода термоса с противоморозными добавками является определение продолжительности остывания бетона по формуле:

$$С = Р \times \frac{100}{Ц}, \quad (16)$$

где Ц – расход цемента на 1 м^3 бетона, кг; Р – расход противоморозной добавки.

Последовательность расчета для метода «горячего термоса» состоит в следующем:

1) Определяется продолжительность остывания конструкции по формуле (6) при данной высокой положительной начальной температуре бетона.

2) Подбор электродов и электрооборудования осуществляется как для метода электропрогрева.

3) Отличительной чертой является подбор и расчет необходимого электрооборудования для осуществления электропрогрева.

Заключение

В данной работе была рассмотрена сущность метода зимнего бетонирования - термос, выявлены главные показатели для данного метода, приведены основные формулы для расчета показателей термосного выдерживания.

Литература

1. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. — М: Изд-воАСВ, 1998. – 304с.
2. Головнев С. Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. -156 с.
3. Гнам, П. А. Технологии зимнего бетонирования в России / П. А. Гнам, Р. К. Кивихарью // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 9 (48). – С.7-25.
4. Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса. М., Строй издат, 1975, 192 с.
5. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции.

Literature

1. Raiser V. D. Theory of reliability in construction design. - M: Izd-voASV, 1998. – 304s.
2. Golovnev S. G. Technology of winter concreting. Optimization of parameters and selection of methods. Chelyabinsk: SUSU Publishing House, 1999. -156 p.
3. Gnam, P. A. Technologies of winter concreting in Russia / P. A. Gnam, R. K. Kivikharyu // Construction of unique buildings and structures. – 2016. – № 9 (48). – P. 7-25.
4. Guide to winter concreting using the thermos method. M., Stroyizdat, 1975, 192 p.
5. SP 70.13330.2012 Load-bearing and enclosing structures.