

**ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ НАГРІВАННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ  
У ФОРМУВАЛЬНОМУ ЦЕХУ В ХОЛОДНИЙ ПЕРІОД РОКУ**

**Вступ.** Упровадження нових технологічних процесів виробництва бетонних і залізобетонних виробів потребує відповідного техніко-економічного аналізу. Серед низки чинників, які обумовлюють доцільність такого впровадження – аналіз зміни теплового навантаження системи опалення цехів заводу залізобетонних виробів, у тому числі формувального цеху.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Однією зі складових теплоповітряного балансу формувального цеху заводу залізобетонних виробів є витрата теплоти на нагрівання бетонної суміші (або надходження теплоти з бетонною сумішшю) в період її перебування в цеху. Слід підкреслити, що мінімально допустима температура бетонної суміші на виході із бетонозмішувача в холодний період року дорівнює 5°C (при її укладанні в цеху, а не на полігоні), а максимально допустима температура розігрітої суміші становить 60°C [1].

Зміна температури бетонної суміші під час її знаходження в цеху (до закриття камери кришкою), впливає певною мірою на витрату теплоносія в процесі теплової чи тепловологої обробки бетонних і залізобетонних виробів [2]. Тому необхідно знати вказаний фактор, наприклад, для розрахунків, наведених в роботах [3] – [5].

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** У довідниковій літературі наводяться загальні формули для визначення інтенсивності нагрівання чи охолодження матеріалів у промислових цехах. Разом із тим ці процеси для бетонної суміші (в період її перебування у формувальному цеху заводу залізобетонних виробів) мають певні особливості, які слід враховувати.

**Постановка завдання.** Мета роботи – розроблення методики визначення інтен-

сивності нагрівання бетонної суміші у формувальному цеху заводу залізобетонних виробів (до закриття теплової камери кришкою) у холодний період року.

**Основний матеріал і результати.** Бетонна суміш у холодний період року потрапляє до формувального цеху з температурою або нижчою, або вищою (якщо передбачено її попереднє розігрівання), ніж температура повітря цеху та обладнання.

Розглядається технологічний процес, у якому початкова температура бетонної суміші нижча, ніж температура повітря цеху та обладнання. Значення розрахункової температури повітря цеху прийнято згідно з положеннями норм [6]. Вироби – залізобетонні плити, тепловолого обробка яких здійснюється в пропарювальних камерах ямного типу.

Пропонується наступний алгоритм визначення інтенсивності нагрівання бетонної суміші (плити) у формувальному цеху.

1. Здійснюється аналіз процесів, які впливають на зміну температури бетонної суміші (плити) під час її знаходження в цеху.

1.1. Процес нагрівання бетонної суміші умовно розділяють на три процеси, які відбуваються одночасно, але кожен процес пропонується обчислювати за окремими залежностями. Ці процеси нагрівання відбуваються внаслідок: 1) стикання суміші з обладнанням; 2) теплообміну з навколишнім середовищем; 3) виділення теплоти цементом при взаємодії з водою.

1.2. Аналізуються процеси масообміну в досліджуваному випадку.

Впливом цих процесів на температуру бетонної суміші рекомендовано нехтувати.

2. Термін часу, впродовж якого досліджується зміна температури бетонної суміші (плити), розділяється на певні проміжки часу.

Оскільки середовище камери при завантаженні в неї відформованих плит сполучається з середовищем цеху, то прийнято, що термін перебування в цеху кожної плити складається з періоду формування плити та з періоду її знаходження у відкритій камері. Відповідно тривалість перебування в цеху першої плити є найдовшою, а останньої плити – найменшою.

Температура середовища камери може відрізнятись від температури повітря цеху. Цей фактор слід враховувати при визначенні кількості теплоти, що витрачається на нагрівання бетонної суміші внаслідок теплообміну з середовищем цеху та внаслідок теплообміну з конструкціями, котрі огороджують камеру (якщо їх температура вища, ніж температура бетонної суміші).

3. Визначається інтенсивність нагрівання першої плити в період її формування та знаходження у відкритій камері.

3.1 Розраховується середня температура  $t_c$  бетонної суміші, арматури та металевго обладнання, яка створюється внаслідок їх стикування.

Сумарний тепловміст бетонної суміші, арматури та металевго обладнання дорівнює

$$c_c \cdot (G_b + G_m) \cdot t_c = c_b \cdot G_b \cdot t_b + c_m \cdot G_m \cdot t_m, \quad (1)$$

тоді  $t_c = (c_b \cdot G_b \cdot t_b + c_m \cdot G_m \cdot t_m) / c_c \cdot (G_b + G_m)$ , (2)  
де  $t_c$  – середня температура бетонної суміші і металу, яка утворюється внаслідок їх стикування, °C;  $G_b$  – маса бетонної суміші однієї плити, кг;  $G_m$  – маса металу, з яким стикається бетонна суміш, кг;  $c_b$ ,  $t_b$  – відповідно питома масова теплоємність і температура бетонної суміші;  $c_m$ ,  $t_m$  – відповідно питома масова теплоємність і температура металу;  $c_c$  – середня питома масова теплоємність бетонної суміші та металу, Дж/(кг·°C), яка розраховується за залежністю

$$c_c = (c_b \cdot G_b + c_m \cdot G_m) / (G_b + G_m). \quad (3)$$

Використання температури  $t_c$  в подальших розрахунках дозволяє врахувати вплив першої з 3-х складових (див. п. 1.1) на загальний процес нагрівання бетонної суміші.

3.2. Обчислюються витрати теплоти  $Q_{nc}$  на нагрівання бетонної суміші, арматури та форми, обумовлені наявністю теплообміну з навколишнім середовищем.

У довідниковій літературі наводяться наступні залежності для визначення кількості теплоти  $Q_{nc}$ , Дж, яку сприймає матеріал від навколишнього середовища за певний проміжок часу,

$$Q_{nc} = c \cdot G \cdot (t_{nc} - t_n) \cdot \beta, \quad (4)$$

де  $c$  – питома масова теплоємність матеріалу, Дж/(кг·°C);  $G$  – маса матеріалу, кг;  $t_{nc}$  – температура навколишнього середовища, °C;  $t_n$  – початкова температура матеріалу, °C;  $\beta$  – коефіцієнт, котрий враховує, яку частку теплоти (відносно теплоти, необхідної для нагрівання матеріалу до температури навколишнього середовища) сприймає матеріал; коефіцієнт  $\beta$  визначається за довідниковими даними за допомогою критерію Фур'є, який дорівнює

$$F_0 = \Delta Z / c \cdot G \cdot R, \quad (5)$$

де  $\Delta Z$  – проміжок часу, с;  $R$  – повний опір передачі теплоти від навколишнього середовища до поверхні теплообміну, °C/Вт; значення  $R$  обчислюється за формулою

$$R = G / (\rho \cdot \lambda \cdot F^2) + 1 / (\alpha \cdot F), \quad (6)$$

де  $\rho$  – густина матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·°C);  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від навколишнього середовища до поверхні теплообміну, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $F$  – площа поверхні теплообміну, м<sup>2</sup>; коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  розраховується за формулою

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_v, \quad (7)$$

де  $\alpha_k$  – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\alpha_v$  – коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Для використання вищенаведених залежностей пропонується застосовувати такі спрощені передумови:

– приймаємо температуру  $t_c$  (див. залежність 2) початковою;

– маса  $G$  дорівнює сумі мас бетонної суміші, форми й арматури

$$G = G_b + G_a + G_f, \quad (8)$$

де  $G_b$  – маса бетонної суміші однієї плити, кг;  $G_a$ ,  $G_f$  – маса відповідно арматури та металевої форми, кг;

– величини  $c$ ,  $\rho$  і  $\lambda$  дорівнюють

$$c = c_c = (G_b \cdot c_b + (G_a + G_f) \cdot c_m) / (G_b + G_a + G_f), \quad (9)$$

$$\rho = \rho_c = (G_b \cdot \rho_b + (G_a + G_f) \cdot \rho_m) / (G_b + G_a + G_f), \quad (10)$$

$$\lambda = \lambda_c = (G_b \cdot \lambda_b + (G_a + G_f) \cdot \lambda_m) / (G_b + G_a + G_f), \quad (11)$$

де  $c_c$ ,  $\lambda_c$ ,  $\rho_c$  – відповідно середня питома масова теплоємність, середній коефіцієнт теплопровідності та середня густина бетонної суміші та металу.

Тоді залежності (4) – (6) мають вигляд

$$Q_{nc} = c_c \cdot (G_b + G_a + G_f) \cdot (t_{nc} - t_c) \cdot \beta, \quad (12)$$

$$F_0 = \Delta Z / c_c \cdot (G_b + G_a + G_f) \cdot R, \quad (13)$$

$$R = (G_b + G_a + G_f) / (\rho_c \cdot \lambda_c \cdot F^2) + 1 / (\alpha \cdot F). \quad (14)$$

3.3. Обчислюється середня температура бетонної суміші, арматури та форми  $t_{c1}$  наприкінці першого проміжку часу (внаслідок наявності теплообміну з навколишнім середовищем та з урахуванням зміни температури бетонної суміші, арматури та металевого обладнання при їх стиканні).

Зміна середньої температури бетонної суміші, арматури та форми  $\Delta t_{c1}$ , °C, наприкінці першого проміжку часу (внаслідок вказаних чинників) дорівнює

$$\Delta t_{c1} = (t_{nc} - t_c) \cdot \beta, \quad (15)$$

тоді середня температура бетонної суміші, арматури та форми  $t_{c1}$ , °C, наприкінці першого проміжку часу (внаслідок наявності теплообміну з навколишнім середовищем та з урахуванням зміни температури бетонної суміші, арматури та металевого обладнання при їх стиканні) дорівнює

$$t_{c1} = t_c + \Delta t_{c1}, \quad (16)$$

де температура  $t_c$  визначається за залежністю (2).

3.4. Обчислюється середня за перший проміжок часу температура бетонної суміші, арматури та форми  $t_1$  (внаслідок наявності теплообміну з навколишнім середовищем та з урахуванням зміни температури бетонної суміші, арматури та металевого обладнання при їх стиканні).

Середня за перший проміжок часу температура бетонної суміші, арматури та форми  $t_1$ , °C (обумовлена вказаними вище чинниками) дорівнює

$$t_1 = 0,5 \cdot (t_c + t_{c1}). \quad (17)$$

3.5. Визначається кількість теплоти  $Q_{ек}$ , що виділяється за перший проміжок часу внаслідок гідратації цементу.

Кількість теплоти  $Q_{ек}$ , Дж, що виділяється за перший проміжок часу внаслідок наявності екзотермічних реакцій взаємодії цементу з водою визначається за довідниковими даними з урахуванням, зокрема, температури бетонної суміші. Для першого проміжку часу використовують температуру  $t_1$ , яку в подальших розрахунках (п. 3.7) слід уточнити.

3.6. Обчислюється середня температура бетонної суміші, арматури та форми наприкінці першого проміжку часу з урахуванням наявності теплообміну з навколишнім середовищем, екзотермії цементу при гідратації та з урахуванням зміни температури бетонної суміші, арматури та металевого обладнання внаслідок їх стикання.

Кількість теплоти, що витрачається на нагрівання бетонної суміші, арматури та форми за перший проміжок часу, можна обчислити за формулою

$$Q_1 = Q_{nc} + Q_{ек}, \quad (18)$$

або за формулою

$$Q_1 = c_c \cdot (G_b + G_a + G_f) \cdot (t_{c1y} - t_c), \quad (19)$$

$$\text{тоді } t_{c1y} = t_c + Q_1 / c_c \cdot (G_b + G_a + G_f), \quad (20)$$

де  $t_{c1y}$  – уточнена середня температура бетонної суміші, арматури та форми наприкінці першого проміжку часу (з урахуванням наявності теплообміну з навколишнім середовищем, екзотермії цементу та з урахуванням зміни температури бетонної суміші, арматури та металевого обладнання внаслідок їх стикання).

Примітка. Урахування зміни температури бетонної суміші, арматури та металевого обладнання при їх стиканні відбувається внаслідок використання в обчисленнях температури  $t_c$ .

3.7. Уточнюється значення середньої за перший проміжок часу температури бетонної суміші, арматури та форми  $t_{1y}$ .

Уточнена середня за перший проміжок часу температура бетонної суміші, арматури та форми  $t_{1y}$ , °C, дорівнює

$$t_{1y} = 0,5 \cdot (t_c + t_{c1y}). \quad (21)$$

Якщо температура  $t_{1y}$  значно відрізняється від температури  $t_1$ , то обчислення повторюють, використовуючи температуру  $t_{1y}$ .

Аналогічно визначається зміна температури бетонної суміші (плити) для подальших проміжків часу.

У табл. 1 наведено співвідношення між кількістю теплоти, що витрачається на нагрівання першої плити і металеві форми внаслідок теплообміну з навколишнім середовищем та кількістю теплоти, що витрачається на їх нагрівання внаслідок виділення теплоти цементом при гідратації за досліджуваних умов. Прийнято, що середня температура бетонної суміші та металу, яка утворюється внаслідок їх стикування,  $t_c = 10^\circ\text{C}$ .

Таблиця 1– Співвідношення між кількістю теплоти, що витрачається на нагрівання першої плити і металеві форми внаслідок теплообміну з навколишнім середовищем та внаслідок екзотермії цементу при гідратації

Загальний інтервал часу, хв	Співвідношення між кількістю теплоти, що витрачається на нагрівання плити і металеві форми за 15 хв внаслідок	
	теплообміну з навколишнім середовищем, %	екзотермії цементу при гідратації, %
15	92,6	7,4
30	88,1	11,9
45	75,7	24,3
60	73,2	26,8
75	69,0	31,0
90	65,8	34,2

Оскільки граничні умови та інші чинники змінюються впродовж перебування цієї плити у відкритій камері, то й інтенсивність її нагрівання змінюється в часі.

**Висновки.**

1. Розроблено методику визначення інтенсивності нагрівання бетонної суміші у формувальному цеху заводу залізобетонних виробів у холодний період року.

2. Наведена методика може бути використана також за умови, що бетонна суміш

попередньо розігріта і її температура вища, ніж температура повітря цеху. У цьому випадку здійснюється корегування формул з урахуванням зміни напрямку теплового потоку.

3. Результати обчислень, виконані згідно з розробленою методикою, необхідні для розрахунку відповідної складової тепло-повітряного балансу формувального цеху:

– при проектуванні та реконструкції систем опалення і вентиляції формувальних цехів заводів залізобетонних виробів;

– при техніко-економічному аналізі нових технологічних процесів у виробництві бетонних і залізобетонних виробів, які потребують відповідних даних.

4. У подальших дослідженнях слід проаналізувати особливості впливу на тепло-повітряний баланс формувального цеху інших факторів, обумовлених особливостями технологічних процесів, які відбуваються в цьому цеху.

**ЛІТЕРАТУРА:**

- ДБН А.3.1-7-96. Управління, організація і технологія. Виробництво бетонних та залізобетонних виробів. – К.: Держкоммістобудування України, 1997. – 53 с.
- Бирик, М.С. Расчёт энергосберегающих режимов тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий [Электронный ресурс] / М.С. Бирик, В.В. Бабицкий. – Режим доступа: [http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/knizh/2009\\_3/2.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/knizh/2009_3/2.pdf).
- Колісник, О.П. Дослідження робочого процесу обробки бетонних виробів у пропарювальній камері з аеродинамічним нагрівачем роторного типу [Електронний ресурс] / О.П. Колісник, О.С. Жеболенко, І.В. Коц. – Режим доступу: [http://www.rusnauka.com/20\\_DNI\\_2013/Tecnic/3\\_142666.doc.htm](http://www.rusnauka.com/20_DNI_2013/Tecnic/3_142666.doc.htm).
- Кошельник, В.М. Дослідження енергоефективності процесу термообробки залізобетонних виробів при застосуванні різних видів енергоносіїв [Електронний ресурс] / В.М. Кошельник, Ю.В. Шульгін, О.І. Глинько. – Режим доступу: [http://vestnik.kpi.kharkov.ua/files/turbine/vestnik%202012/2012\\_7/7\\_2012\\_27.pdf](http://vestnik.kpi.kharkov.ua/files/turbine/vestnik%202012/2012_7/7_2012_27.pdf).
- Бабицкий, В.В. Прогнозирование характеристик твердеющего тяжёлого бетона / В.В. Бабицкий, С.Д. Семенов, М.С. Бирик

// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2009. – Вип. 18. – С. 3 – 12.

б. ДБН А.3.1-8-96. Проектування підприємств

з виробництва залізобетонних виробів. – К.: Держбуд України, 1998. – 47 с.

УДК 666.327

Дёмина О.И., Костюк Т.А., Деденёва Е.Б., Салия М.Г.

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

### ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА В КАЧЕСТВЕ ВЯЖУЩЕГО БЕЗГИПСОВОГО ЦЕМЕНТА (БГЦ) ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

Обоснование выбора в качестве вяжущего безгипсового цемента (БГЦ) для получения мелкозернистого бетона основывалось на проведенных экспериментальных исследованиях.

Известно, что отсутствие в БГЦ двухводного гипса обычно приводит к практически мгновенному схватыванию системы цемент-вода. Это происходит потому, что при затворении цемента водой в начальный период времени образуются гидроалюминаты кальция с положительным знаком заряда поверхности, активно реагирующие с отрицательно заряженными частицами силикатных составляющих цементных зерен.

Во избежание мгновенного схватывания бетонной смеси и для придания необходимых свойств бетонному камню было проанализировано влияние химических и минеральных добавок на процессы формирования структуры бетона, как в начальный период твердения, так и на его конечную прочность. В связи с этим были проведены поисковые исследования по выбору и определению влияния добавок на структуру и свойства мелкозернистого бетона. На основании этого поиска были рекомендованы следующие виды добавок:

- полуводный гипс;
- чистые химические добавки (нитрат кальция и хлорид кальция).

В качестве гипсовой добавки использовали насыщенный раствор строительного низкомарочного гипса.

Механизм структурообразования и твердения сульфатоклинкерных систем, с

точки зрения коллоидно-химических явлений, представляет собой образование комплексных солей гидросульфалюминатов, которые при малом содержании гипса образуют коллоидные пленки новообразований на зернах клинкера, задерживают гидролиз последних, «запирая» продукты гидролиза в твердой фазе, уплотняют ее и приводят к твердению цементного камня. Концентрации порового электролита при этом невелики, суспензия устойчива, преобладают процессы сольватации (гидратации зерен клинкера), что положительно влияет на повышение структурной прочности.

Проведенные эксперименты по введению гипсовой добавки показали, что избыток гипса может привести к образованию гидросульфалюминатов в уже сформировавшейся микроструктуре бетонного камня (цементной матрице), что особенно нежелательно для изделий дорожных покрытий. В связи с тем, что эксплуатация дорожных покрытий предполагает циклическое воздействие на них влаги, то проведенные испытания моделировали вышеуказанные условия, т.е. выдержка образцов осуществлялась в переменном уровне воды. Полученные результаты по введению различного количества полуводного гипса приведены в табл.1.

Как видно из табл. 1, избыточное количество гипса (10 %) приводит к разрушению цементного камня, что можно объяснить образованием гидросульфалюминатов кальция. Недостаток