

УДК 693.54:693.55

к.е.н., доцент **Якименко О.В.**,
yakimenko1961@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0909-267X,
Харківський національний університет
міського господарства імені О.М. Бекетова

ЩОДО ПИТАННЯ ВИБОРУ МЕТОДІВ БЕТОНУВАННЯ ПІД ЧАС НЕГАТИВНИХ ТЕМПЕРАТУР

Досліджуються методи бетонування під час негативних температур. Розглянуто приготування бетону у зимовий період. Проаналізовано фактори в технології зимового бетонування. Проведено аналіз та визначено переваги та недоліки методів бетонування під час негативних температур. В результаті порівняння методів зимового бетонування зроблено висновок, щодо найбільш ефективного методу.

Ключові слова: цементний камінь; монолітний бетон; зимове бетонування; термооброблення бетону; метод «термоса»; протиморозні добавки; електродне прогрівання; зігрівальні ізольовані проводи; інфрачервоне нагрівання.

Вступ. Бетон це штучний кам'яний будівельний матеріал, який отримують після формування та затвердіння спеціально підібраної ущільненої суміші, що складається з цементної в'язучої речовини, великих і дрібних заповнювачів, а також води [1]. В результаті хімічних реакцій, що відбуваються між водою і цементом, утворюється цементний камінь, що скріплює зерна заповнювачів, утворюючи монолітний камінь. Відповідно, вкрай важливо не допустити замерзання води, що знаходиться всередині бетонної суміші, оскільки замерзання бетону в ранньому віці тягне значне зниження міцності аж до руйнування конструкції. Крім того, для проведення монолітних робіт потрібно доставити бетонну суміш на об'єкт, укласти в опалубку, потім здійснити обігрів і забезпечити набір міцності за позитивної температури до необхідної критичної міцності.

Істотну роль в технології зимового бетонування відіграють ряд факторів: характер бетонованих конструкцій, співвідношення їхніх геометричних розмірів, прийнята послідовність робіт, кліматичні умови.

Найбільш поширеним рішенням просторової несучої системи багатоповерхового будинку є монолітний або збірно-монолітний каркас. Збірно-монолітний каркас будівлі має плоскі диски перекриттів, утворені традиційними багатопустотними плитами і монолітними ригелями, прихованими в їх площинах. Колони каркаса можуть бути також монолітними. Поширеною, особливо в зарубіжній практиці, є система з поперечними несучими стінами і перекриттями з монолітного бетону, що утворюють стільниковий каркас, а також системи з ядрами (стволами) жорсткості в центрі будівлі, в яких розташовані ліфтові шахти.

Застосування монолітного бетону під час зведення цивільних будівель і споруд є одним з найважливіших напрямків розвитку сучасного будівництва. Створення подібних об'єктів призводить до необхідності формування нових, більш ефективних архітектурно-будівельних систем та технологій їх реалізації. За останні 10...15 років в методах зведення будівель з монолітним залізобетоном відбулися революційні зміни не тільки в технологіях виробництва бетону, а й в способах укладання та утеплення конструкцій. Значно збільшилися темпи зведення таких будівель. І хоча істотним недоліком монолітного будівництва завжди вважалися складності у виробництві робіт за негативних температур, але завдяки проведеним дослідженням і накопиченому за десятиліття виробничого досвіду, подібні «зимові» роботи виконуються цілий рік [2].

Наприклад, застосування бетононасосів і автобетонозмішувачів, індустріальних опалубних форм та інших передових технологій значно підвищило темпи укладання бетонних сумішей і зробило можливим скорочення ризику заморожування бетону до початку теплового оброблення. В свою чергу, поява швидкотверднучих цементів та підвищення їх технічних характеристик дозволило оптимізувати застосування як протиморозних добавок, так і режимів прогрівання бетону. Крім того, з'явилися різні теплоізоляційні матеріали, технології попереднього електророзігріву бетонної суміші, зігрівальні дроти, термоопалубка тощо.

Постановка проблеми. Існує величезна кількість різних методів зимового бетонування як у вітчизняній, так і зарубіжній практиці. Таке різноманіття обумовлює необхідність їх класифікації. Ряд авторів виділяє дві групи методів: електротермооброблення і безпрогрівні методи.

Одним з найбільш ефективних методів бетонування конструкцій взимку є попередній електророзігрів суміші. Проте цей метод технічно складно реалізувати. Способи прогрівання конструкцій зігрівальними ізольованими проводами і електродний метод прогрівання бетону, які також часто використовуються в будівництві, мають як свої переваги, так і недоліки. За великого вибору варіантів термооброблення бетону, що застосовується для різних конструктивних систем і умов зовнішнього середовища, в даний час найбільш поширений комбінований метод. Це укладання зігрівальних проводів в колони і перекриття, конвективний обігрів замкнутих обсягів. Є розробки щодо термообробці бетону в щитовій опалубці, обладнаної зігрівальною системою (термоопалубка) [8].

Виклад основного матеріалу. У зимовий період приготування бетону має свої особливості. Крім забезпечення умов запобігання утворення тріщин, потрібно забезпечити умову набирання міцності. Ця умова вимагає, щоб бетонна суміш не замерзла до набирання певної міцності (40...50 % від необхідної

міцності), а для цього суміш повинна мати позитивну температуру протягом усього цього періоду. Температура бетонної суміші під час його приготування залежить від температури її складових. Оскільки наповнювачі зберігаються зазвичай на відкритому повітрі (взимку буде мати місце промерзання), тобто потрібно їхнє підігрівання. Величина підймання температури визначається розрахунком залежно від необхідної температури на виході з бетонного заводу [3].

Вибір основних методів виконання бетонних робіт взимку залежить від безлічі різних чинників. Серед них основними є призначення конструкції, масивність, спосіб укладання і температура навколишнього середовища, час на набирання міцності. Однак, іноді доводиться враховувати й інші фактори (вид опалубки, наявність утеплювача, можливості застосування хімдобавок тощо).

Під час вибору методу не можна нехтувати і такими показниками, як трудовитрати, терміни виконання робіт, витрати на обладнання і матеріали.

Для зимового бетонування використовують спеціальні суміші високого класу з хімічними протиморозними і пластифікуювальними добавками, утеплюють свіжоукладений бетон різними способами: із застосуванням генераторів гарячого повітря, теплових труб з парами теплоносія або електроенергії.

Вибір того чи іншого методу зимового бетонування обумовлюється рядом факторів:

1) бетонування за допомогою методу «термоса» – масивністю конструкції, низькою температурою повітря, спрощеною технологією робіт, а також наявністю достатнього часу для набуття міцності;

2) бетонування з використанням протиморозних добавок – відсутністю енергії, достатній час для набирання міцності, швидкістю вітру, невеликою мінусовою температурою повітря;

3) бетонування із застосуванням методів штучного прогрівання – геометричними розмірами, необхідністю інтенсивного набору міцності.

Остаточний вибір методу виконання бетонних робіт в зимовий час повинен бути підкріплений економічними показниками. Спосіб бетонування із застосуванням методу «термоса».

Бетонування за допомогою методу «термоса» є найефективнішим під час бетонування масивних виробів і конструкцій, використання швидко тверднучих портландцементів і ефективних теплоізолювальних матеріалів (особливо під час помірних морозів). Він успішно застосовується і в разі бетонування конструкцій середньої масивності. Ступінь масивності конструкції визначається модулем її поверхні, тобто відношенням площі охолоджуваних поверхонь конструкції до її обсягу.

Сутність цього методу полягає в тому, що бетонна суміш виготовляється на підігрітих заповнювачах, потім транспортується на будівельний майданчик, інтенсивно укладається в опалубку і утеплюється. Бетон набуває заданої міцності під час охолодження до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ внаслідок початкового теплоутримання й екзотермічного тепловиділення цементу. Застосовуючи цей метод, необхідно забезпечити збереження позитивної температури в тілі бетону (звичайна бетонна суміш під час укладання має початкову температуру не нижче $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Цей метод можна використовувати ширше – підвищуючи початкову температуру, застосовуючи цементи з підвищеним виділенням тепла і швидкотверднучими хімічними добавками, поверхнево-активні речовини. Іноді доцільно поєднувати метод «термоса» з електрообігріванням конструкції по її периметру, тоді цей метод може застосовуватися в конструкціях з модулем поверхні до 12 [3].

Під час охолодження виробів і конструкцій в зимових умовах необхідно також знати величину коефіцієнта теплообміну, який обумовлюється швидкістю вітру, перепадами температур, конфігурацією виробу, наявності обрешітки на поверхні оснащення та її теплофізичних характеристик, а також кута набігаючого внаслідок дії вітру потоку.

Переваги методу «термоса»:

- низька собівартість;
- простий технологічний процес.

Недоліки методу «термоса»:

- неефективність у разі особливо низьких температур;
- не підходить для складних конструкцій;
- підходить тільки для конструкцій з відносно маленькою площею охолодження.

Бетонування з використанням протиморозних добавок. Одним з методів виконання бетонних робіт в умовах з негативними температурами є застосування бетонів з введенням в них протиморозних добавок (далі – ПМД). Так як за низьких температур вода, що входить до складу суміші починає кристалізуватися, бетон стає пухким і не може придбати розрахункову міцність. Добавки знижують температуру замерзання вільної рідини і прискорюють твердіння бетону за негативних температур повітря [5].

Бетони з протиморозними добавками вимагають меншої витрати води на одиницю об'єму, ніж звичайні бетони. Цим можна пояснити підвищену міцність і морозостійкість бетонів з добавками солей в порівнянні з марочною міцність. Відповідно і водо-цементне відношення у бетонів з добавками солей менше, ніж у звичайного (еталонного), виготовленого з рівноконсистентних сумішей.

Кількість і вид протиморозної добавки призначається залежно від факторів навколишнього середовища, модуля поверхні, призначення бетонної суміші і з урахуванням конструктивних і експлуатаційних особливостей бетонуваних монолітних конструкцій. Вибираючи ПМД, слід враховувати її специфічні властивості і область застосування. На даний момент в будівництві використовуються кілька сотень різних видів ПМД.

Зазвичай добавки в бетон вводять в момент його замішування, так як в цьому випадку є можливість домогтися рівномірного розподілу реактивів щодо всього об'єму. Однак допускається і домішування добавок безпосередньо на об'єкті. У цьому випадку повинні бути дотримані відповідні приписи. Якщо інтенсивність набору міцності не відповідає проектним вимогам, то рекомендується збільшити розрахункову температуру твердіння за рахунок утеплення бетонувальної конструкції.

Необхідно також уважно стежити за кількістю введеної протиморозної добавки, так як її оптимальність має важливе значення. Недостатня кількість може привести до передчасного замерзання, яке в ранньому віці бетону негативно позначається на кінцевій міцності і, як правило, призводить до незворотних деструктивних процесів. А надмірне – до уповільнення твердіння. Тому у разі невідповідності темпу твердіння бетону графіку виконання робіт зазвичай застосовують поєднання методу з додаванням ПМД з методом «термоса» за рахунок утеплення конструкцій, а також з електропрогріванням суміші. Крім того, необхідно виходити з розрахункової температури твердіння, яка б забезпечила набір міцності бетону, не менше критичної до замерзання.

Переваги протиморозних добавок:

- низька вартість матеріалів;
- відсутність спеціального дорогого обладнання;
- низькі трудовитрати;
- простота реалізації;

Недоліки протиморозних добавок:

- збільшення часу досягнення бетоном його розрахункової міцності;
- зниження корозійної стійкості арматури (для хлоридних добавок).

Бетонування із застосуванням методів штучного прогрівання.

Сутність методів штучного прогрівання полягає в підвищенні температури укладеного бетону до максимально допустимої і підтриманні її протягом періоду, під час якого бетон набуває критичної або заданої міцності. Штучне прогрівання об'єднує групу методів, що базуються на використанні тепла, одержуваного внаслідок перетворення електричної енергії в теплову. Температуру можна підвищити, пропускаючи через бетон електричний струм або за допомогою нагрівальних пристроїв, від яких тепло підводиться до бетону

радіаційним, кондуктивним або конвективним способом. Різноманітність методів штучного прогрівання дозволяє в кожному конкретному випадку (залежно від конфігурації, особливостей армування, призначення конструкції) обрати найбільш ефективний спосіб. Методи штучного прогрівання бетонних і залізобетонних конструкцій можна класифікувати так:

- електродне прогрівання;
- обігрівання зігрівальними ізольованими проводами;
- нагрівання в електромагнітному полі;
- інфрачервоне обігрівання.

Штучне прогрівання забезпечує отримання бетонів із заданими фізико-механічними властивостями, що істотно не відрізняються від властивостей бетонів, які тверднуть у звичайних умовах. Одночасно його застосування передбачає, що інженерно-технічні працівники добре опізнані з електрофізичними й теплофізичними процесами, що відбуваються в бетоні, а також різняться високою культурою обслуговування [3].

Роботи зі штучного прогрівання бетону проводяться відповідно до розробленого проекту, в якому передбачено: настанови щодо вибору електрообладнання, схеми встановлення електродів (стрижневих, смугових, пластинчастих, струнних, нашивних); правила встановлення електронагрівальних елементів (інфрачервоних і низькотемпературних), схеми підведення електроживлення з підімкненням електродів або електронагрівачів.

Електродне прогрівання. Одним з найбільш ефективних методів зимового бетонування вважається електродне прогрівання. Прогрівання бетону за допомогою електродів зберігає необхідні параметри твердіння розчину під час заливання в зимовий період. Цей спосіб має на увазі введення в бетон або розміщення на його поверхні електродів (стрижневих, смугових, струнних, пластинчастих), які потім підключають до трансформатора. В результаті утворюється електричне поле, яке зігріває бетон, а не навколишнє середовище. Підбираючи і регулюючи вихідні параметри трансформатора, можна домогтися необхідної температури прогрівання бетону.

В'яжучі та наповнювачі, що входять до складу бетону, в сухому стані мають високий опір. Вода ж є складовою, яка різко знижує опір бетону. Тому свіжоукладений бетон є хорошим провідником, і електричний струм, проходячи через нього, швидко розігріває суміш.

Однак, незважаючи на ряд позитивних особливостей цього методу, велику складність представляє управління електродним прогріванням. Важливо пам'ятати, що питомий електричний опір бетону змінюється в міру його витримування. Цей процес не є лінійним і експериментальні дослідження величини цього показника для бетонів відсутні [7].

Переваги прогрівання електродами:

- висока теплова ефективність методу;
- надійність і простота монтажу;
- прогрівання конструкцій будь-якої товщини і будь-якої форми.

Недоліки прогрівання електродами:

- значний час для підготовки (в тому числі додаткові електрохімічні розрахунки);
- додаткове обладнання (трансформатори);
- високі енерговитрати (від 1000 кВт для 3...5 м³ бетонної суміші);
- потреба в більшій кількості кваліфікованих робітничих кадрів.

Обігрівання зігрівальними ізолюваними проводами. Даний метод є універсальною технологією термоізоляції бетону за негативних температур, що знайшла широке застосування під час зведення монолітних багатоповерхових житлових будинків, з прогріванням стін, перекриттів, колон і фундаменту. Прогрівання зігрівальними проводами відбувається зсередини конструкції – кондуктивно, так як джерело тепла (провід) укладається безпосередньо всередину бетонувальної конструкції. Після заливання бетону по дроту пускається електричний струм певних параметрів для нагрівання суміші зсередини. Кабель не демонтується і залишається всередині конструкції назавжди. У цьому полягає велика перевага даного способу, оскільки, на відміну від всіх подібних методів, коли тепло від джерела підводиться до конструкції ззовні і здійснює нагрівання з поверхні, використовуючи зігрівальний провід, все тепло передається бетону [7].

Для прогрівання бетону в конструкціях застосовуються нагрівальні дроти, які спеціально випускаються для цієї мети, з діаметром жили (сталевий дріт в пластиковій ізоляції) від 1,2 до 3 мм. В якості зігрівальних ізолюваних проводів можуть використовуватися як металеві одножильні і двошкульні, так і неметалеві полімерні дроти. Унікальність таких проводів полягає в їх струмопровідній жилі на композиційній основі, яка забезпечує більш інтенсивне нагрівання дротів в порівнянні з металевими аналогами [6].

Зігрівальний провід підходить для прогрівання будь-яких бетонних конструкцій, незалежно від характеру їхнього армування і конфігурації. Так як зазвичай такі провід нарізають на відрізки певної довжини і підключають через понижуючий трансформатор, або використовують провід розрахункової довжини, який працює від мережі 220В. Однак вкрай важливо до того ж зробити правильні розрахунки і контролювати регулювання напруги, що подається (силу струму), щоб уникнути перегрівання або перегорання проводів. Також важливо вчасно запобігати будь-яким механічним пошкодженням ізоляції під час

установлення й кріплення проводів, укладання бетону, влаштування опалубки. Дотримання цих вимог є основою всього методу.

Обігрівання зігрівальними проводами монолітних конструкцій і замонолічення стиків і швів легко поєднується з іншими способами забезпечення тверднення бетону: використання різних видів повітряного прогрівання, термоактивної опалубки тощо.

Переваги прогрівання проводом:

- низька вартість;
- висока теплова ефективність методу;

Недоліки прогрівання проводом:

- неможливість повторного використання проводів;
- потреба у великій кількості додаткового обладнання (знижуючий трансформатор, засоби теплового захисту, магістральні кабелі тощо);
- трудомісткість укладання.

Нагрівання в електромагнітному полі. Метод індукційного нагрівання застосовується в основному для теплового оброблення довгомірних конструкцій, таких як колони, труби, ЛЕП, палі тощо, що володіють невеликим змінним перетином. Для прискорення набирання залізобетоном необхідної міцності за негативних температур застосовують метод індукційного прогрівання. Крім того, застосування цього методу можливо лише для армованих конструкцій, що містять в собі металеві елементи, які будуть являтися серцевиною. Цей метод застосовується в будівельних і заводських умовах.

Метод заснований на принципі електродинаміки – магнітної індукції. Навколо залитого бетонного елемента розміщують петлями ізольований кабель, який виконує роль котушки-індуктора, яка включена в ланцюг змінного електричного струму. В результаті цього в конструкції утворюється електромагнітне поле. Теплова енергія якого нагріває внутрішні армувальні елементи конструкції, від яких тепло поширюється щодо всього бетону.

Інтенсивність тепловиділення джерел тепла визначається виключно електричними і магнітними властивостями джерела і напруженістю магнітного поля, і ніяк не залежить від власних властивостей бетону. Для того, щоб отримати електромагнітні поля з великими периметрами, використовують багатовиткові індуктори з добре провідного матеріалу.

Розрахунок індукційного прогрівання полягає у визначенні кількості витків індуктора, необхідного для створення розрахункової напруги магнітного поля, причому такої, щоб забезпечувалася потужність, необхідна для прогрівання бетону конструкцій за заданим режимом [3].

Переваги індукційного прогрівання:

- низька вартість;

- рівномірність прогрівання;
- відсутність додаткового обладнання.

Недоліки індукційного прогрівання:

- проведення безлічі складних розрахунків для кожної конструкції;
- можливість застосування на обмеженому типі конструкцій.

Інфрачервоне обігрівання. Одним із способів зберегти задану температуру бетону є вплив на нього інфрачервоним випромінюванням, яке має властивість поглинатися тілами і трансформуватися в теплову енергію. Інфрачервоні промені є складовою частиною спектра електромагнітних хвиль, поширюються в просторі з певною частотою і довжиною.

У разі використання цього методу джерела енергії (промислові інфрачервоні обігрівачі) розташовують в безпосередній близькості від конструкції. Тепло від джерела інфрачервоних променів до залитого елемента передається миттєво. Потім тіло прогрівається за рахунок власної теплопровідності. Важливо правильно відрегулювати потужність установок, щоб домогтися необхідної температури в бетоні. В цьому випадку вільна вода не буде кристалізуватися. В іншому ж випадку можливе руйнування всієї конструкції.

Для електротермооброблення бетону, в основному, використовуються ТЕНи потужністю до декількох сотень кВт, з температурою випромінювальної поверхні від 600 до 2500 К. Вони відносяться до сірих випромінювальних тіл. Покривши опалубку чорним кольором, можна підвищити ефективність прогрівання за рахунок збільшення її поглинаючих можливостей. У наш час промисловість випускає в основному три групи випромінювачів: металеві трубчасті (ТЕНи), кварцові і карборундові стрижневі.

Однак даний метод не підходить для конструкцій, товщина бетону в яких перевищує 50...70 см. У цьому випадку на додаток до інфрачервоного обігрівання необхідно використовувати і інші методи зимового бетонування.

Переваги інфрачервоного прогрівання:

- установки працюють від мереж з невеликими напруженнями (малі енерговитрати);
- відсутність додаткового обладнання;
- висока теплова ефективність методу.

Недоліки інфрачервоного прогрівання:

- відносно невелика робоча площа і глибина прогрівання одного випромінювача;
- необхідність розміщення установок (додатковий простір).

Висновки. Вибір того чи іншого методу залежить від виду і масивності конструкції, складу і необхідної міцності бетону, метеорологічних умов

виконання робіт, енергетичної оснащеності будівельного майданчика тощо. Успішність зимового бетонування в безперервності і достатньої інтенсивності укладання бетонної суміші з перекриттям раніше укладеного шару без зниження в ньому температури нижче передбаченої, обов'язковій цілодобовій роботі і постійному контролю якості бетону. Мінімальна температура бетонної суміші, що укладається в конструкцію, повинна бути не нижче $+ 20^{\circ} \text{C}$.

В даний час значно зросли темпи зведення монолітних будівель. До того ж значно скорочуються терміни витримування монолітних конструкцій до однієї-трьох діб за розпалубної міцності до 50...70 % від проектної. З'явилися легкі теплоізоляційні матеріали, різні електронагрівачі, зігрівальні кабелі, дроти, термоопалубка, прилади для визначення температури бетону, що твердіє, і засоби автоматичного управління режимами витримування конструкції [4].

Комп'ютерне програмне забезпечення дозволяє не тільки розраховувати і прогнозувати технологічні параметри, але і здійснювати оптимальне управління технологічними процесами. Тому мета зимового бетонування – запобігання бетону від замерзання в ранні терміни, забезпечення належних умов його тверднення, що призводять до набору критичної міцності.

Якщо бетон до замерзання набуває необхідну початкову міцність, то всі згадані вище процеси не роблять на нього негативного впливу.

Критерій морозостійкості – найбільша межа міцності, виражена в % від проектної міцності у віці 28 діб, у разі досягнення якої бетон може бути заморожений без зниження його міцності показників після продовження тверднення у разі настання позитивних температур.

Величина нормованої критичної міцності залежить від чинників, що включають тип монолітної конструкції, клас застосованого бетону, умови його витримування, терміну прикладення проектної потужності до конструкції, умов експлуатації, і становить:

– для бетонних і залізобетонних конструкцій з ненапруженою арматурою 50 % проектної міцності для бетону класу С8/10, 40 % – для бетону класу С10/12,5... С20/25 і 30 % – для бетону С25/30 і вище.

Завданням досягнення бетоном критичної міцності за негативних температур зовнішнього повітря є забезпечення необхідних температурно-вологісних умов тверднення з моменту приготування бетонної суміші, доставлення, укладання і витримування в опалубці.

В результаті порівняння різних методів зимового бетонування можна зробити висновок, що найбільш ефективним є метод «термоса». Крім того, саме цей метод серед всіх розглянутих раніше є найбільш простим і економічним у разі використання. Однак, якщо температура зовнішнього повітря занадто низька, або бетон не встигає набрати свою міцність в заданий термін,

використовують або один з альтернативних методів, або комбінований метод «термоса» з введенням протиморозних добавок, тому що використання ПМД не вимагає додаткових витрат на електроенергію і робочу силу.

Список використаних джерел

1. Гуденко В.М. Технологія будівельного виробництва: навчальний посібник / В.М. Гуденко. – Київ: Аграрна освіта, 2010. – 481 с.
2. Технология зимнего монолитного бетонирования : учеб. пособие / Э.И. Батынский, Н.М. Голубев, В.В. Бабицкий и др. – Москва : Изд-во АСВ, 2009. – 229 с.
3. Якименко О.В. Бетонні роботи : монографія / О.В. Якименко, О.В. Кондращенко, А.О. Атинян; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва. ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – 276 с.
4. Топчий В. Д. Бетонирование в термоактивной опалубке / В. Д. Топчий. – Москва : Стройиздат, 1977. – 112 с.
5. ДБН В.2.7-64-97. Правила застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах. Чинний від 1 січня 1999 року. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. – 67 с.
6. Корытов Ю.А. Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов // Механизация строительства. 2010. № 3. – с. 14-20.
7. Баженов Ю.М. Технология бетона: учебник / Ю.М. Баженов – М.: Изд-во АСВ, 2011 – 528 с. с ил.
8. Имайкин Д.Г., Ибрагимов Р.А., Мартынов М.М., Сунгатуллина А.Р. Технология зимнего бетонирования строительных конструкций с применением термоактивной опалубки // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17, №24. - С. 96-98.

к.э.н., доцент Якименко О.В.,
Харьковский национальный университет
городского хозяйства имени А.Н. Бекетова

К ВОПРОСУ ВЫБОРА МЕТОДОВ БЕТОНИРОВАНИЯ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Исследуются методы бетонирования при отрицательных температурах. Рассмотрены приготовления бетона в зимний период. Проанализированы факторы в технологии зимнего бетонирования. Проведен анализ и определены преимущества и недостатки методов бетонирования при отрицательных

температурах. В результате сравнения методов зимнего бетонирования сделан вывод относительно наиболее эффективного метода.

Ключевые слова: цементный камень; монолитный бетон; зимнее бетонирование; термообработка бетона; метод «термоса»; противоморозные добавки; электродный прогрев; греющие изолированные провода; инфракрасное нагревание.

PhD., Assistant Professor Yakymenko O.,
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

ON THE CHOICE OF METHODS OF CONCRETING AT LOW TEMPERATURES

Concreting methods at low temperatures are investigated. Concrete preparations in winter are considered. The factors in the technology of winter concreting are analyzed. The analysis is carried out and the advantages and disadvantages of concreting methods at low temperatures are determined. As a result of comparing winter concreting methods, a conclusion is drawn regarding the most effective method.

With decreasing temperature (negative), the ice content in the hardening cement stone increases, and the liquid decreases. At this moment, structural changes occur in concrete, primarily due to an increase in the volume of water that turns into ice. Freezing in concrete, the volume of water increases by about 9%, and, therefore, internal pore pressure arises. Cement stone in the process of forming a strong crystallization structure acquires the ability to resist this pressure. The solid phase of neoplasms increases, and the liquid phase, respectively, decreases. The molding structure of the neoplasms is preserved, since structural pores in the gels contribute to this, which cause deformations not expansion, but compression.

High physical and mechanical properties of concrete can be achieved if you learn how to control the process of structure formation of concrete at the stage of hardening. The process of structure formation at an early stage is significantly affected by the volumetric change in concrete components under the influence of environmental factors. Such a change is especially noticeable during changes in positive and negative temperatures. Basically, these changes occur due to the expansion of mixing water.

In the process of concrete freezing, moisture moves from thin capillaries to the formed ice inclusions, the volume of which increases. After thawing of concrete in places of ice inclusions, caverns remain that violate the solidity of the material, reducing its strength and increasing permeability. So, changes in the structure of concrete during freezing are caused not only by temperature differences, but also by internal mass transfer.

When constructing houses in winter conditions, two main requirements are made regarding concrete hardening: concrete must acquire formwork strength during optimal terms and be exposed to negative temperatures only after it has become resistant to freezing.

At lower temperatures, in each case it will be necessary to apply special measures to guarantee the presence of the temperature necessary for the hardening of concrete (the "thermos" method, heating). It is also possible to use unheated concrete hardening methods in the winter – using antifrosty additives.

Key words: cement stone; cast concrete; winter concreting; concrete heat treatment; thermos method; antifreeze additives; electrode heating; heating insulated wires; infrared heating.

REFERENCES

1. Hudenko V.M. Tekhnolohiya budivelnoho vyrobnytstva: navchalnyy posibnyk / V.M. Hudenko. – Kyiv: Ahrarna osvita, 2010. – 481 s. {in Ukrainian}.
2. Tekhnologiya zimnego monolitnogo betonirovaniya : ucheb. posobiye / E.I. Batyanskiy, N.M. Golubev, V.V. Babitskiy i dr. – Moskva : Izd-vo ASV, 2009. – 229 s. {in Russian}.
3. Yakymenko O.V. Betonni roboty : monohrafiya / O.V. Yakymenko, O.V. Kondrashchenko, A.O. Atynyan ; Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va. im. O.M. Beketova. – Kharkiv : KHNUMH im. O.M. Beketova, 2017. – 276 s. {in Ukrainian}.
4. Topchiy V.D. Betonirovaniye v termoaktivnoy opalubke / V.D. Topchiy. – Moskva : Stroyizdat, 1977. – 112 s. {in Russian}.
5. DBN V.2.7-64-97. Pravyla zastosuvannya khimichnykh dobavok u betonakh i budivelnnykh rozchynakh. Chynnyy vid 1 sichnya 1999 roku. – Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny, 2014. – 67 s. {in Ukrainian}.
6. Korytov YU.A. Zimneye betonirovaniye s primeneniym nagrevatel'nykh provodov // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2010. № 3. – s. 14-20. {in Russian}.
7. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona: uchebnyk / Yu.M. Bazhenov – M.: Izd-vo ASV, 2011 – 528 s. s il. {in Russian}.
8. Imaykin D.G., Ibragimov R.A., Martynov M.M., Sungatullina A.R. Tekhnologiya zimnego betonirovaniya stroitel'nykh konstruktsiy s primeneniym termoaktivnoy opalubki // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T.17, №24. S. 96-98. {in Russian}.