

## ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОПАРЮВАННЯ БЕТОНУ

Вінницький національний технічний університет

*У дослідженні розглянуто сучасні аспекти теплової обробки бетонних та залізобетонних виробів як одного з ключових процесів у виробництві будівельних матеріалів. Наголошено на важливості впровадження енергоощадних технологій з метою зменшення витрат енергоресурсів та підвищення продуктивності виробництва. Показано, що теплова обробка сприяє суттєвому прискоренню тверднення бетону, що, у свою чергу, дозволяє підвищити обсяги випуску продукції та знизити експлуатаційні витрати за рахунок раціонального використання форм і матеріалів.*

*Проаналізовано вплив температурних і вологісних умов на динаміку тверднення бетонів. Встановлено, що оптимізація температурного режиму дозволяє досягти марочної міцності бетону в значно коротші строки. Окрему увагу приділено технологічним особливостям укладання та тверднення бетонів у холодний період року, що вимагає спеціальних заходів для запобігання замерзанню свіжого бетону.*

*Розглянуто сучасні методи прискорення процесу тверднення, серед яких виділено парову обробку (пропарювання) як найбільш універсальну та ефективну технологію. Наведено класифікацію методів тепловологісної обробки за типом теплоносія та проведено детальний аналіз особливостей автоклавного пропарювання. Описано принципи роботи автоклавних установок, конструктивні рішення щодо забезпечення герметичності, рівномірного розподілу температури, а також заходи для підвищення енергоефективності систем.*

*Здійснено вибір конструктивної схеми автоклавної установки, яка характеризується використанням аеродинамічного нагрівання, утилізації теплової енергії та вдосконаленими системами регулювання тепловологісного режиму. Обґрунтовано доцільність подальшого математичного моделювання процесів теплової обробки в автоклаві для визначення оптимальних технологічних параметрів та пошуку шляхів удосконалення існуючих установок.*

**Ключові слова:** теплова обробка, бетонні вироби, бетон, аеродинамічне нагрівання, пропарювання, міцність бетону, автоклав, автоклавна установка.

### Вступ

Теплова обробка бетонних виробів один з найенергозатратніших процесів виробництва і потребує постійного розвитку для процвітання пріоритету енергоощадності у виробництві будівельних матеріалів. Окрім цього теплова обробка значно скорочує термін тверднення бетону, що збільшує в свою чергу потужності виробництва і дає можливість виготовляти велику кількість якісних бетонних виробів заощаджуючи при цьому кількість форм (зменшуючи при цьому потребу в металі) і збільшуючи випуск готової продукції.

Готовність бетонних виробів, їх якість і собівартість продукції залежать головним чином, від технології аеродинамічного нагрівання. Тому необхідно детально дослідити сучасні технології паротермічної обробки бетону з можливістю їх удосконалення та застосування для реконструкції або заміни існуючого застарілого обладнання виробництва бетонних виробів.

### Постановка проблеми

Сьогодні устаткування вітчизняного будівельного виробництва досить застаріле і потребує оновлення та нових сучасних інженерних рішень, що побудовані на економічності, енергоощадності та екологічності. Доцільно провести огляд сучасних установок та обладнання для теплової обробки бетонних виробів для подальшого дослідження рішень з їх удосконалення.

### Умови потреби та способи прискорення тверднення бетонів.

Зміна міцності бетону в часі так само як зміна його інших технічних властивостей залежить від мінералогічного і речовинного складу цементу, структури і складу бетону, умов його твердіння. [1]

При нормальних умовах тверднення (температура повітря +20 °C і відносна вологість 95±5 %) бетон набуває марочної міцності через 28 діб після укладання і ущільнення бетонної суміші. Під час підвищення температури середовища до 60-85 °C і збереження вологості твердіння бетону значно пришвидшується. На протязі перших 7 діб бетон набирає 60-70 % марочної міцності, тому правильна обробка та догляд особливо важливі в перші дні після його укладання.

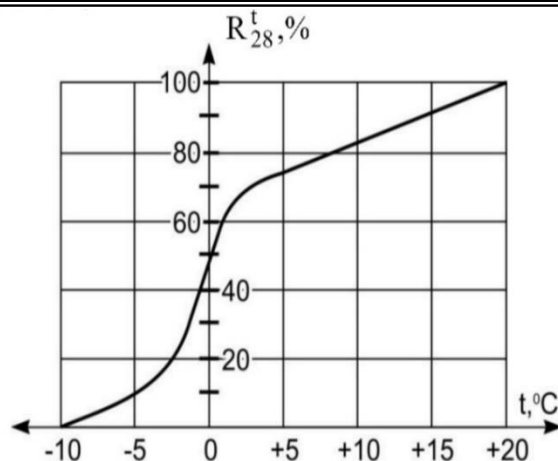


Рисунок 1 – Наростання міцності свіжоприготованого бетону протягом 28 діб при температурах від +20 до  $10^\circ\text{C}$  (в % від  $R_{28}$ ) [1]

При температурах нижче  $5...10^\circ\text{C}$  тверднення бетону значно сповільнюється (Рис. 1), а при мінусових температурах бетон замерзає. Тому при бетонуванні взимку основною умовою є забезпечення в укладеному бетоні відповідної температури, що виключає можливість замерзання бетону в ранньому віці до досягнення ним моменту замерзання 50% марочної міцності.

Розповсюдженими на сьогодні є такі способи прискорення тверднення бетонів при мінусових температурах: спосіб «термоса», паронагрів (пропарювання), електронагрів, застосування хімічних добавок. Всі ці способи мають ряд своїх переваг та недоліків.

Найбільшого поширення в виробництві бетонних виробів набув спосіб пропарювання, так як вважається найбільш універсальним та ефективним.

#### Сучасні способи та установки для пропарювання бетону

За типом теплового носія тепловологісну обробку бетону класифікують:

- нагрівання виробів водяною парою при надлишковому тиску (автоклав) (Рис. 2);
- нагрівання виробів пароповітряною сумішшю при атмосферному тиску (ямні, горизонтальні і вертикальні камери);
- нагрів продуктами згоряння природного газу (застосовується для тепловологісної обробки лише легких бетонів);
- нагрів водяним середовищем, електроенергією, високотемпературними органічними теплоносіями.

Автоклавна обробка розглядається як сучасний та найбільш ефективний спосіб пропарювання бетону. Автоклавні установки працюють при тиску  $0,8-1,2\text{ МПа}$  і температурі  $170-188^\circ\text{C}$ . Для запарювання виробів використовується волога насичена водяна пар, яка швидко конденсується і створює водне середовище в порах матеріалу. Виключається застосування перегрітої пари для автоклавної обробки. Особливістю можна відзначити те, що при підвищенні тиску пари скорочується тривалість запарювання і збільшує міцність виробів, але тиск пари при цьому не впливає на процеси твердіння, а лише забезпечує потрібну температуру в автоклаві.

Автоклави поділяють на два типи:

- тупикові (вхід і вихід вагонеток з однієї сторони);
- прохідні (вхід і вихід вагонеток з протилежних сторін).

Варто відзначити, що небезпека виникнення тріщин в бетонних виробках при розвитку температурних напружень підвищується при обробці виробів великої товщини, суцільного перерізу або з ніздрюватих бетонів з підвищеним водовмістом. [1]



Рисунок 2 – Загальний вигляд автоклавної установки для парової обробки бетонних виробів

### Принцип роботи та будова автоклавної установки

Автоклав тупикового типу складається з наступних елементів (рис. 3): захищений шаром теплоізоляції корпус; кришка, що оснащена механізмами відкривання та закривання в склад якого входить насосна станція, що подає масло в циліндри поворотного механізму. Для забезпечення герметичності кришка також оснащена байонетним засувом, що складається з двох байонетних кілець одне з яких нерухоме, а інше може повертатись навколо вісі автоклава. Кільця мають виступи визначеного профіля, які при повороті рухомого кільця заходять за виступи нерухомого і утворюють замок. Між кільцями є ущільнюючий елемент. Зубчасте колесо і ручний механізм його повороту, який під час руху уперед повертає колесо і відкриває кришку автоклава. Вироби на теплову обробку подаються на вагонетках по рейковому шляху. Ввід пари в автоклав здійснюється через патрубок або форсунки, які пов'язані з перфорованим трубопроводом, що прокладений по всій довжині автоклава під рейковим шляхом. Конденсат відводиться з установки через патрубок. Корпус автоклава встановлюється на шість опор, п'ять з яких є рухомими. Така будова опор дозволяє переміщатись корпусу при нагріванні, при цьому усуваючи напругу, що виникає в корпусі при тепловому розширенні. Для захисту установки передбачені запобіжники та влаштування катодного захисту. Може бути використане вакуумування або продувка робочого простору автоклава парою для пришвидшення процесів обробки.

З метою економії пари використовується паровий акумулятор або скидання надлишкової пари в інший автоклав.

Тиск у повітряному середовищі в теплоізолюваному корпусі автоклавної установки створюється компресором з пневморесивером. Стиснене повітря, проходячи трубопроводом через редукційний клапан, подається в робочу камеру.

Під час охолодження частина енергії може бути вилучена за рахунок тепломасообміну в утилізаторі теплової енергії і використана на нагрівання води необхідної до подальшого створення в робочій камері пароповітряного середовища та додаткового зволоження виробів.

Теплова енергія, що накопичується у пароповітряному об'ємі робочої камери, утворюється в результаті нагрівання цього середовища за допомогою аеродинамічного нагрівача та відбору теплової енергії від води, що нагрівається через форсунки. З метою енергозбереження, як воду для зволоження, використовують зібраний конденсат, який випадає у нижній частині камери і має залишкову температуру.

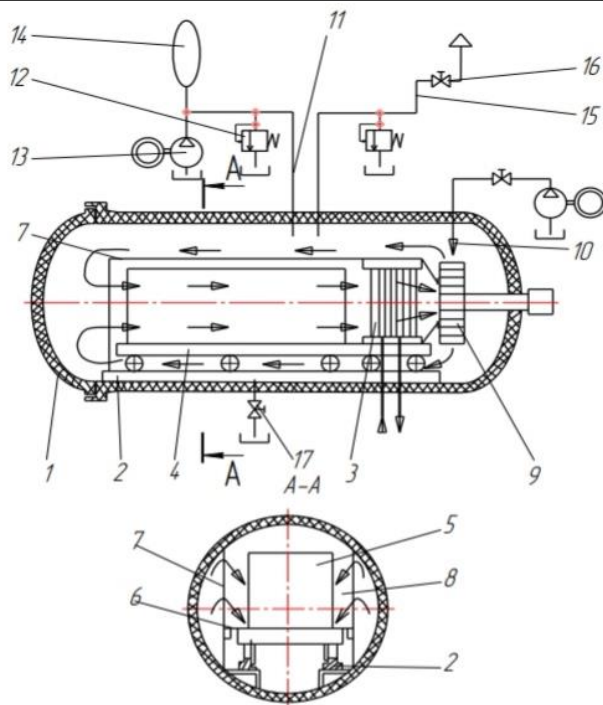


Рисунок 3 - Автоклавна установка тепловологісної обробки [2]

1 – теплоізований корпус; 2 – рейкові напрямні; 3 – теплообмінник; 4 – візок; 5 – оброблюваний виріб; 6,7 – нижній та верхній теплові екрани; 8 – робоча камера; 9 – аеродинамічний нагрівач роторного типу; 10 – форсунки для подачі води; 11,15,16 – з’єднувальні трубопроводи; 12 – редукційний клапан; 13 – компресор; 14 – пневморесивер; 17 – вентиль.

Для наступних теоретичних та експериментальних досліджень обираємо вищепри описану конструктивну схему обладнання для пропарювання бетону.

### Висновки

Проведений аналіз підтвердив важливість теплової обробки бетонних і залізобетонних виробів для підвищення продуктивності та енергоефективності виробництва. Встановлено, що автоклавне пропарювання є найбільш ефективним методом прискорення тверднення бетонів, забезпечуючи високі показники міцності готової продукції.

Досліджено конструктивні особливості сучасних автоклавних установок, зокрема заходи з підвищення енергоефективності, застосування аеродинамічного нагрівання та утилізацію теплової енергії. Визначено необхідність подальшого вдосконалення технології шляхом автоматизації процесів та використання енергозберігаючих рішень.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на математичне моделювання процесів тепловологісної обробки та оптимізацію технологічних режимів. Розвиток і модернізація автоклавних установок сприятимуть підвищенню якості бетонних виробів і зниженню енергетичних витрат у будівельній галузі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дворкін Л.І. «Міцність бетону»: Навчальний посібник/Дворкін Л.І. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021 – 310с.
2. Коц І.В. Тепловологісна обробка бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагрівання: монографія/ І.В.Коц, О.П.Колісник – Вінниця: ВНТУ, 2013 – 114с.
3. Колісник О.П. Процеси тепломасообміну при тепловій обробці бетонних виробів/ О.П. Колісник.//Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2008. - №38 - . 82-87
4. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів: навч.посіб./В.І. Братчун, В.О.Золотарьов, М.К.Пактер [та ін.]; під.ред. В.І. Братчуна. – Макіївка: Дон НАБА, 2006. – 303с.
5. Будівельне матеріалознавство / П.В.Кривенко, К.К.Пушкарьова, В.Б.Барановський та ін. – К. : ЕксОБ, 2004. – 704 с.

### REFERENCES

1. Dvorkin L.I. «Mitsnist betonu»: Navchalnyi posibnyk/Dvorkin L.I. – K.: Vydavnychiy dim «Kondor», 2021 – 310s.
2. Kots I.V. Teplovologisna obrobka betonnykh vyrobiv z vykorystanniam aerodynamichnoho nahrivannia: monohrafiia/ I.V.Kots, O.P.Kolisnyk – Vinnytsia: VNTU, 2013 – 114s.
3. Kolisnyk O.P. Protsesty teplomasoobminu pry teplovii obrobtsi betonnykh vyrobiv/ O.P. Kolisnyk.//Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut». – 2008. - №38. - 82-87.

4. Fyzyko-khimichna mekhanika budivelnikh materialiv: navch.posib./V.I. Bratchun, V.O.Zolotarov, M.K.Pakter [ta in.]; pid.red. V.I. Bratchuna. – Makiivka: Don NABA, 2006. – 303s.
5. Budivelne materialoznavstvo / P.V.Kryvenko, K.K.Pushkarova, V.B. Baranovskyi ta in. – K. : EksOb, 2004. – 704 s.

**Слободянюк Сергій Анатолійович** – аспірант кафедри інженерних систем у будівництві, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: sergford90@gmail.com.

**S. Slobodyanuk**

## RESEARCH OF MODERN TECHNOLOGIES OF CONCRETE EVAPORATION

Vinnytsia National Technical University

*The research examines modern aspects of heat treatment of concrete and reinforced concrete products as one of the key processes in the production of building materials. The importance of implementing energy-saving technologies with the aim of reducing energy resource consumption and increasing production productivity is emphasized. It is shown that heat treatment contributes to a significant acceleration of concrete hardening, which, in turn, allows to increase the volume of production and reduce operating costs due to the rational use of forms and materials.*

*The influence of temperature and humidity conditions on the dynamics of concrete hardening is analyzed. It is established that optimizing the temperature regime allows to achieve the brand strength of concrete in a much shorter time. Special attention is paid to the technological features of laying and hardening of concrete in the cold season, which requires special measures to prevent freezing of fresh concrete.*

*Modern methods of accelerating the hardening process are considered, among which steam treatment (steaming) is highlighted as the most universal and effective technology. The classification of heat-moisture treatment methods by type of coolant is presented and a detailed analysis of the features of autoclave steaming is carried out. The principles of operation of autoclave installations are described, design solutions for ensuring tightness, uniform temperature distribution, as well as measures to increase the energy efficiency of systems.*

*The design scheme of the autoclave installation was selected, which is characterized by the use of aerodynamic heating, heat energy utilization and improved systems for regulating the thermo-humidity regime. The expediency of further mathematical modeling of heat treatment processes in an autoclave to determine optimal technological parameters and search for ways to improve existing installations is justified.*

*Key words: heat treatment, concrete products, concrete, aerodynamic heating, brazing, strength of concrete, autoclave, autoclave installation.*

**Serhii Slobodanyuk** – graduate student of the Department of Engineering Systems in Construction, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: sergford90@gmail.com