



УДК 666.9

DOI: 10.37128/2520-6168-2022-4-12

ТЕРМОСИЛОВА ТЕХНОЛОГІЯ БЕТОНІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Швець Людмила Василівна, к.т.н., доцент
Яківчук Сергій Володимирович, аспірант
Вінницький національний аграрний університет

Ludmila Shvets, Ph.D., Associate Professor
Serhii Yakivchuk, Postgraduate student
Vinnytsia National Agrarian University

Протягом останнього десятиріччя в Україні та світі спостерігається тенденція зростання випуску монолітного бетону та залізобетону з підвищеними показниками міцності. Забезпечення заданих властивостей бетону у короткі строки – це одна з основних задач технології залізобетонних виробів в сучасних умовах.

Відомо, що термосилова обробка може справити позитивний вплив на властивості бетонів – у тому числі, міцність, морозостійкість, водонепроникність, довговічність. В усіх індустріально розвинених країнах поширюється застосування бетону з підвищеними фізико-механічними показниками.

В будівельній індустрії гостро поставлена проблема економії ресурсів та енергозбереження. Застосування термосилового способу виробництва бетонів нового покоління дозволяє підвищити показники міцності, морозостійкості та інших фізико-механічних властивостей бетону.

В умовах високої конкуренції у виробництві бетонних виробів отримання високоміцного бетону шляхом застосування якісних заповнювачів і в'язучих високих марок різко збільшує собівартість виробу і робить його неконкурентноздатним. Існує проблема, пов'язана зі скороченням виробництва високоякісних в'язучих та заповнювачів через добування якісної сировини. Більшість кар'єрів, де видобувалась якісна сировина для будівельної галузі, занедбано або вичерпано. Тому необхідно виявляти внутрішні резерви приросту міцності бетону, вирішити гостру проблему економії ресурсів та енергозбереження, застосовуючи рядові складові і місцеві будівельні матеріали. Істотно розкрити резерви міцності бетону та підвищити фізико-механічні властивості бетону можливо шляхом комплексного впливу таких факторів: як вібрація, надлишковий тиск, температура та хімічні добавки.

Ключові слова: бетон, міцність, морозостійкість, водонепроникність, довговічність, термосилова технологія.

Рис. 4. Літ. 11

1. Постановка проблеми

Теплова обробка позитивно впливає на властивості бетонів – у тому числі на міцність, морозостійкість, водонепроникність, довговічність. Відповідно основними передумовами при розробці нових технологій виробництва будівельних конструкцій є зниження питомих енерговитрат, зниження тривалості технологічного циклу. В умовах надмірного споживання електроенергії, постає задача пошуку шляхів раціонального використання її. Спостерігається тенденція розробки нових технологій виробництва будівельних конструкцій із застосуванням альтернативних джерел енергії [1].

Неекономне використання електроенергії підприємствами змушує серйозно замислитись над проблемою енергозбереження в країні. Енергетичний сектор економіки України потребує особливої уваги з боку держави. Важливим є використання альтернативних джерел енергії, пошук нових шляхів.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Істотно розкрити резерви міцності бетону та підвищити фізико-механічні властивості бетону можливо шляхом комплексного впливу таких факторів: як вібрація, надлишковий тиск, температура та хімічні добавки.

В умовах високої конкуренції у виробництві бетонних виробів отримання високоміцного бетону шляхом застосування якісних заповнювачів і в'язучих високих марок різко збільшує собівартість виробу і робить його неконкурентноздатним. Існує проблема, пов'язана зі скороченням виробництва високоякісних в'язучих та заповнювачів через добування якісної сировини. Більшість



кар'єрів, де видобувалась якісна сировина для будівельної галузі, занедбано або вичерпано. Тому необхідно виявляти внутрішні резерви приросту міцності бетону, вирішити гостру проблему економії ресурсів та енергозбереження, застосовуючи рядові складові і місцеві будівельні матеріали.

У бетонній галузі високоміцні бетони нового покоління є результатом еволюційного процесу традиційних бетонів та високоміцних бетонів (HSC) [6].

Високоміцні бетони нового покоління характеризуються високим вмістом зв'язуючої речовини, дрібнорозмірним заповнювачем і водоцементним співвідношенням нижче 0,25, що дозволяє отримати матеріал без капілярної пористості. Розвиток технології бетону відображений на рис.1 [4, 5].

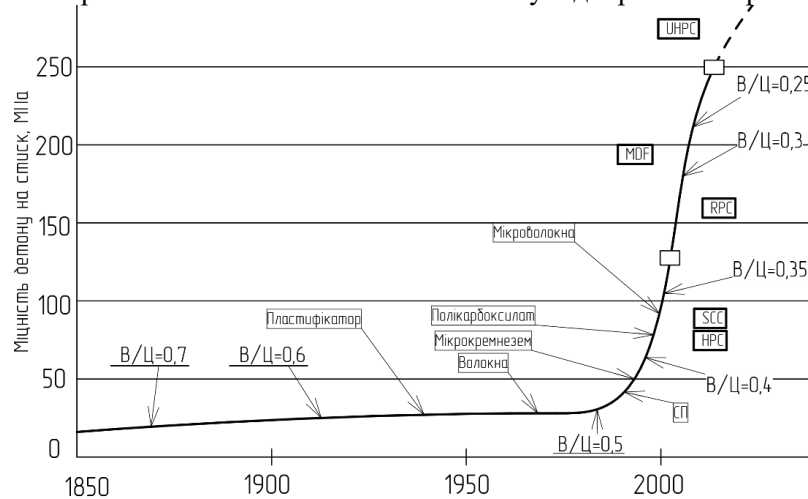


Рис. 1. Розвиток технології бетону

До характерних представників нового покоління можна віднести високоміцні швидкотверднучі бетони: Високофункціональні бетони "High Performance Concrete" (HPC), Самоущільнювальні бетони "Self-compacting Concrete" (SCC), Реакційно-порошкові бетони "Reactive Powder Concrete" (RPC). Графік міцності відображений на рис.2.

Найбільший ефект зміцнення цементного каменю досягається при його ущільненні в процесі тужавлення цементу, тобто в період коагуляційного структуроутворення. Зовнішній тиск потрібно підтримувати тривалий час доти, поки процеси тужавлення і часткового твердіння не закінчаться, тоді цементний камінь настільки зміцніє, що зможе сприйняти внутрішній тиск повітря, стиснутого в порах системи. Силовий вплив на бетонну суміш поліпшує зчеплення цементного каменю з заповнювачами, тому що збільшується площа контакту між частинками.

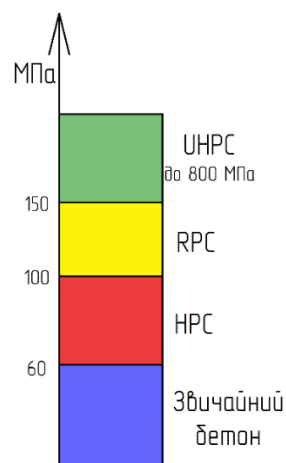


Рис.2. Графік міцності бетонів

Характерною ознакою цих бетонів є багатокомпонентність: включення до їх складу добавок суперпластифікаторів та інших регуляторів властивостей, активних дисперсних мінеральних добавок природного і техногенного походження, застосування фракційованих заповнювачів.



Для цих бетонів також характерні: низькі значення водоцементного відношення, модифікована структура, що дозволяє забезпечити високі значення міцності та інших будівельно-технічних властивостей, сприятливі реологічні властивості, більш низьке порівняно з традиційними бетонами співвідношення витрати цементу і міцності, що дозволяє забезпечити їх ефективне використання.

Під міцністю розуміють здатність чинити опір руйнуванню від дії внутрішніх напружень, що виникають в результаті навантаження або інших факторів. Бетон відноситься до матеріалів, які добре пручаються стиску, значно гірше зрізу і ще гірше розтягання (в 5 ... 50 разів гірше, ніж стиску).

Основні способи впливу на бетонну суміш з метою її ущільнення і формування виробів можна розділити на 3 групи: статичні (пресування, укочення, вакуумування), динамічні (вібрація, трамбування), комбіновані (вібропресування, вібровакуумування, віброштампування та ін.)

При розгляді механізму ущільнення бетонної суміші пресуванням найбільше значення мають вільна і капілярна вода, а також вода адсорбційних оболонок.

При досягненні певного тиску тверді частки бетонної суміші зближуються, в результаті чого частина плівкової води переходить у вільний стан і може бути відтиснута.

Роль тиску полягає не тільки в зниженні В/Ц. Додатковий приріст міцності пресованих бетонів забезпечується за рахунок формування більш якісної структури і, зокрема, зменшення радіусу пор, усунення макродефектів контактної зони і дефектів, пов'язаних з сегментаційними процесами. Ефективним способом отримання надміцних бетонів і економії цементу є тривале об'ємне пресування бетонної суміші.

Як показано Е.М. Бабичем, в результаті тривалого (2-3 доби) пресування міцність бетону при стисненні збільшується на 60-140% і може досягати 100-150 МПа. Найбільший ефект тривалого пресування досягається при застосуванні тиску (5-15 МПа) в інтервалі схоплювання цементу.

В результаті віджимання води водо-цементне відношення тривало пресованих бетонів досягає 0,18-0,20.

Високі фізико-механічні властивості бетону забезпечуються при термосилової технології, заснованої на комплексному впливі зовнішнього тиску і нагрівання. При цьому бетон перебуває під дією тиску і температури до придбання критичної міцності, здатної витримувати напруги, що виникають при знятті тиску [2].

3. Мета досліджень

Мета роботи – вдосконалення термосилової технології виготовлення бетонів.

4. Виклад основного матеріалу

Для роботи в лабораторних умовах з тиском та прогрівом бетонних виробів використовується пакетна термосилова установка рис.3.

При термічній обробці підвищення температури бетону активізує взаємодію води і цементу і прискорює твердіння бетону. При цьому фазовий склад продуктів гідратації цементу, тверднучого при різних температурах, практично залишається однаковим.

Швидкість наростання міцності в процесі термічної обробки, досягає найвищих значень в перші години, потім різко зменшується, то практично недоцільно проводити обробку до отримання граничної міцності.

Зазвичай теплову обробку закінчують при міцності бетону 70 ... 80% від граничних значень. У цьому випадку забезпечується достатня інтенсивність зростання міцності бетону після теплової обробки і вона досягає у віці 28 діб заданої середньої міцності бетону, а час прогріву скорочується в 2 ... 3 рази в порівнянні з тим часом, яке було б потрібно для отримання граничної міцності.

При термосилової обробці нагрівання бетону призводить до його розширення. При охолодженні бетон стискається, проте виникла структура перешкоджає цьому і в бетоні спостерігаються залишкові деформації, тобто його об'єм після теплової обробки більш ніж первинний. Збільшення обсягу призводить до підвищення пористості бетону і пониженню його міцності. Термосилова технологія дозволяє зменшити пористість і відповідно зберегти або й збільшити міцність. Зазвичай бетон нагрівається з поверхні, тому утворюється надлишковий тиск в першу чергу виникає у його поверхні. Термосилова технологія зменшує надлишковий тиск, так як міграція вологи з області з підвищеним тиском в холодніші частини виробів і дифузія пари сприяють зменшенню надлишкового тиску і відповідно зменшуються дефекти бетону. При охолодженні в бетоні виникають напруги внаслідок того, що утворена структура перешкоджає його температурному стиску. Навантаження дозволяє зменшити усадку бетону. Пористість в процесі теплової обробки збільшується головним чином за рахунок капілярних пор (відповідно зменшення морозостійкості виробу), так як пори, які утворюються при твердінні цементного каменю, зазвичай з'являються і розвиваються дещо пізніше,



ніж відбувається основне розширення бетону при нагріванні. Застосування, при термосилової технології, закритих форм, що обмежують розширення бетону, сприяє поліпшенню його якості.

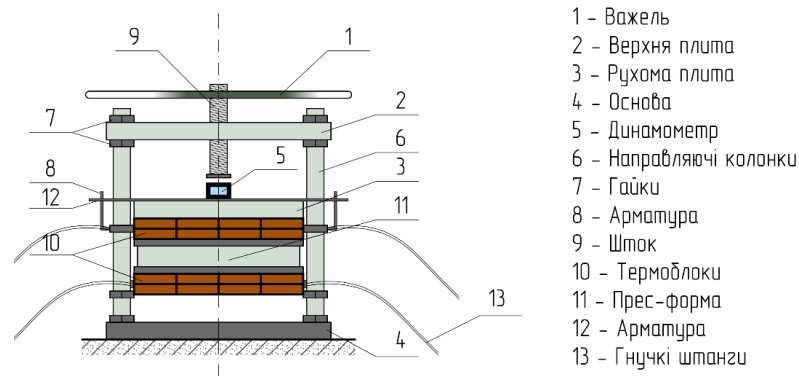


Рис. 3. Пакетна термосилова установка

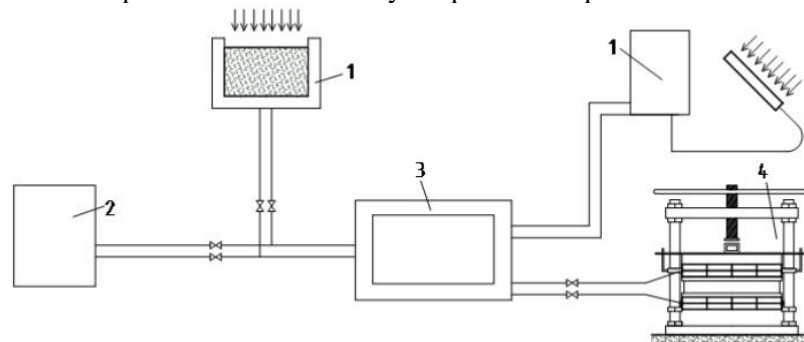
Застосування в будівельному виробництві високих тисків пов'язано з великими труднощами і зараз навряд чи буде економічно доцільним (потреба в потужному силовому обладнанні і металоємких пресформах). А ось відносно низькі тиски цілком можуть бути використані для однотипних деталей невеликих розмірів, які випускаються серійно. При цьому доцільно застосовувати сонячну енергію – це дозволить не тільки окупити ускладнені форми, але й отримати значний економічний ефект [3].

Для прискорення твердіння бетонних і залізобетонних виробів здійснюється тепловолога або теплова обробка цих виробів. Використання сонячної енергії в процесі теплової обробки бетонних і залізобетонних виробів є ефективним засобом для зменшення їх собівартості [3].

На нагрів 1 м³ бетону в сталевій формі до 80 °С необхідно приблизно 60 тис. ккал. Оскільки нагрів відбувається поступово, то цей процес супроводжується виділенням тепла. При справному обладнанні ці втрати досягають 150 тис. ккал, що в 2-2,5 рази більше тепла, яке корисно витрачається. Таким чином, сумарні втрати тепла в декілька разів перевищують кількість тепла, яке витрачається на нагрів бетону з формою.

Тепловий вплив на твердіння бетону в сучасних енергетичних установках, як правило, здійснюється при температурі 70-95 °С. В області цих температур відбувається прямий нагрів предметів сонячною радіацією. У перетворювачах і акумуляторах сонячної енергії можна створювати температуру 100 °С і вище. Доступність отримання низькотемпературного тепла у вигляді гарячого повітря, води та інших рідких теплоаккумуляуючих композицій дозволяє залучити сонячну радіацію в енергобаланс підприємств з виробництва бетонних і залізобетонних збірних і монолітних конструкцій в районах з великою кількістю сонячних днів.

Основні напрямки освоєння сонячної енергії в технології бетонних робіт пов'язані з експериментальними дослідженнями, створенням технічно і економічно ефективних установок, геліотехнічних систем, а також розробки нової технології витримування бетону та її впровадженням в практику будівництва. Схема енергетичного комплексу зображена на рис. 4.



**Рис. 4. Схема енергетичного комплексу:
1 – сонячний теплоприймач; 2 – генератор теплоти; 3 – акумулятор теплоти;
4 – споживач енергії (термосилова установка)**



Інші дослідження підтвердили вплив підвищеної температури на пінобетон і було зроблено висновок, що вплив підвищеної температури до 300 °С та збільшення сили пресування бетону під час твердіння знижує міцність бетону [7, 8].

Є негативні моменти, які повинні бути розглянуті для застосування термічної обробки високоміцних бетонів нового покоління. У деяких випадках значні пошкодження поверхонь спостерігаються в зразках оброблених при підвищеній температурі. Це пояснюється надмірною деформацією відкритого поверхневого шару бетону [9].

Це може викликати мікротріщини на поверхні; отже спричинити до зниження механічних властивостей і довговічності бетону. Ще одна проблема, пов'язана з раптовим і деструктивним розривом поверхневого шару, що відбувається при нагріванні бетону [10].

Ця проблема була пов'язана із щільною структурою високоміцних бетонів і дрібнорозмірних високоміцних бетонів нового покоління. Структура такого бетону обмежена і призводить до накопичення внутрішнього тиску, і коли міцність на розтяг досягається граничного стану, руйнується структура матеріалу. Пори утворюються при температурі 105 °С, що відповідає температурі випаровування води, при температурі 220 °С, відбувається розщеплення суміші [11].

5. Висновки

Термосилова технологія – це технологія, яка слугує процесом підвищення показників міцності і щільності з впливом на процеси структуроутворення.

Основною проблемою термосилової технології є затрати електроенергії. Одним із найбільш перспективних напрямів будівельного матеріалознавства буде створення бетонів нового покоління за допомогою термосилової технології.

При термосиловій технології деформаційні усадки можуть бути практично відсутні або мати гранично низькі значення. Повзучість таких бетонів зазвичай істотно нижче нормованих значень. Досягнення необхідних якісних показників бетону можливо лише при ретельному ущільненні бетонних сумішей.

Нагрів прискорює хімічні реакції. Підвищення температури бетону активізує взаємодію води і цементу і прискорює твердіння бетону.

Список використаних джерел

1. Дудар І. Н., Гарнага В. Л., Яківчук С. В., Друкований М. Ф. Використання сонячної енергії для термосилової обробки бетону методом термосу. *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*. 2020. С 27–30.
2. Дворкін Л. Й. Основи бетоноведення. СПб.: СБ, 2006. 692 с.
3. Дудар І. Н. Термосилова технологія бетону: монографія. УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. 146 с.
4. Швець В. В. Вдосконалення технології дрібнорозмірних бетонних виробів способом вібраційних термосилових впливів: автореферат. Вінниця: ВНТУ, 2005. 24 с.
5. Гарнага В. Л. Термосилова технологія дрібно розмірних бетонних виробів з використанням хімічних добавок: автореферат. Вінниця: ВНТУ, 2005. 24 с.
6. Aitcin P. C. High-Performance Concrete. *E & FN Spon, Routledge*, London. 2020. P. 46–51
7. Khan M. S., Abbas H. Effect of elevated temperature on the behavior of high volume fly ash concrete. *KSCE J. Civ. Eng., Dec.* 2014. P. 111–118.
8. Vishwanath K. N., Narayana S., Bindiganavile V. Influence of sustained elevated temperature on fly ash concrete. *Indian Concr. J.* 2014. Vol. 88, №. 1. P. 26–32.
9. Omran A., He Z., Long G. Heat damage of steam curing on the surface layer of concrete. *Mag. Concr. Res.* 2012. Vol. 64, №. 11, P. 995–1004.
10. Phan L., Carino N. Effects of test conditions and mixture proportions on behavior of high strength concrete exposed to high temperatures. *ACI Mater. J.* 2012. Vol. 99, №. 1. P. 54–66.
11. Phan L.T. Pore pressure and explosive spalling in concrete. *Mater. Struct.* 2018. Vol. 41, №. 10. P. 1623–1632.

References

- [1] Dudar, I., Garnaga, V., Yakivchuk, S., Drukovany, M. (2020). The use of solar energy for thermoforce treatment of concrete by the thermos method. *Scientific and technical collection "Modern technologies, materials and structures in construction"*. VNTU. 27–30. [in Ukrainian].
- [2] Dworkin, L. (2006). *Fundamentals of concrete production*. St. Petersburg: SB. [in Ukrainian].



- [3] Dudar, I. (2001). *Thermopower technology of concrete: monograph*. Vinnytsia: UNIVERSUM. [in Ukrainian].
- [4] Shvets, V. (2005). *Improvement of the technology of small-sized concrete products by the method of vibrational thermoforce effects: abstract*. Vinnytsia: VNTU. [in Ukrainian].
- [5] Garnaga, V. (2005). *Thermopower technology of small-sized concrete products using chemical additives: author's abstract*. Vinnytsia: VNTU. [in Ukrainian].
- [6] Aitcin, P.C. (2020). High-Performance Concrete. *E & FN Spon, Routledge, London*. 46–51. [in English].
- [7] Khan, M.S., Abbas, H. (2014). Effect of elevated temperature on the behavior of high volume fly ash concrete. *KSCE J. Civ. Eng., Dec.* 111–118. [in English].
- [8] Vishwanath, K. N., Narayana, S., Bindiganavile, V. (2014). Influence of sustained elevated temperature on fly ash concrete. *Indian Concr. J.*, 88 (1). 26–32. [in English].
- [9] Omran, A., He, Z., Long, G. (2012). Heat damage of steam curing on the surface layer of concrete. *Mag. Concr. Res.* 64 (11). 995–1004. [in English].
- [10] Phan, L., Carino, N. (2012). Effects of test conditions and mixture proportions on behavior of highstrength concrete exposed to high temperatures. *ACI Mater. J.*, 99 (1). 54–66. [in English].
- [11] Phan, L.T. (2018). Pore pressure and explosive spalling in concrete. *Mater. Struct.*, 41 (10). 1623–1632. [in English].

THERMAL POWER TECHNOLOGY OF NEW GENERATION CONCRETE

Over the last decade, the trend of producing monolithic concrete and reinforced concrete with increased strength indicators continues in Ukraine and the world. Ensuring the performance of concrete and short roads is one of the main tasks of the technology of reinforced concrete products in modern times.

It is known that thermoforce processing can have a positive effect on the properties of concrete - such as volume, strength, corrosion resistance, water permeability, durability. In these industrially developed countries, the use of concrete with increased physical and mechanical indicators is growing.

In the construction industry, there is a problem of saving money and energy security. The application of the thermoforce method for the production of new-generation concrete allows to increase the indicators of strength, corrosion resistance and other physical and mechanical properties of concrete.

In conditions of high competition in the production of concrete products, obtaining high-strength concrete by using high-quality aggregates and binders of high grades sharply increases the cost of the product and makes it uncompetitive. There is a problem related to the reduction in the production of high-quality binders and aggregates due to the extraction of quality raw materials. Most of the quarries, where quality raw materials for the construction industry were mined, are abandoned or exhausted. Therefore, it is necessary to identify internal reserves of concrete strength growth, to solve the acute problem of saving resources and energy saving, using ordinary components and local building materials. It is possible to significantly open the strength reserves of concrete and increase the physical and mechanical properties of concrete through the complex influence of such factors as vibration, excess pressure, temperature and chemical additives.

Key words: concrete, strength, weather resistance, water permeability, durability, thermopower technology

Fig. 4. Ref. 11.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Швець Людмила Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії і технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету (ВНАУ, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: shlv0505@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4364-0126>).

Яківчук Сергій Володимирович – аспірант першого року навчання Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: SergiiYakivchuk7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0157-1812>).

Ludmila Shvets – Ph.D., Associate Professor, Department of Agricultural Engineering and Technical Service Vinnytsia National Agrarian University (Sunny str., 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: shlv0505@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4364-0126>).

Serhii Yakivchuk – postgraduate student at the Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: SergiiYakivchuk7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0157-1812>).