



KAPITEL 5 / CHAPTER 5 ⁵

BENCHMARKING ANALYSIS OF PRODUCTION TECHNOLOGIES CELLULAR CONCRETE

DOI: 10.30890/2709-2313.2025-40-02-020

Вступ.

Ніздрюватий бетон є одним із найбільш перспективних будівельних матеріалів, що набув широкого поширення завдяки чудовим теплоізоляційним властивостям, легкості обробки та економічності. В умовах посилення конкуренції на будівельному ринку підприємствам необхідно постійно оптимізувати виробничі процеси. Важливим інструментом для цього є бенчмаркінг, який дозволяє порівняти технології, що використовуються провідними виробниками, визначити найкращі практики та запровадити їх у власному виробництві.

Постановка проблеми.

Сучасний будівельний ринок характеризується зростаючими вимогами до енергоефективності, екологічності та економічності будівельних матеріалів. Ніздрюватий бетон, завдяки своїм унікальним властивостям, відіграє важливу роль у задоволенні цих потреб. Однак, в умовах інтенсивної конкуренції, підприємства, що виробляють ніздрюватий бетон, стикаються з необхідністю постійного вдосконалення технологічних процесів для підвищення ефективності виробництва, якості продукції та зниження собівартості. Особливо перспективним є впровадження технологій виробництва ноздрюато-бетонних виробів на вже існуючих лініях виробництва силікатної цегли. Це дає можливість суттєво зменшити витрати на капітальне будівництво, дозволяє використати вже встановлені металомістки автоклави. Різноманіття існуючих технологій виробництва ніздрюватого бетону, що використовуються провідними світовими компаніями, створює як можливості для запозичення найкращих практик, так і складності у виборі найбільш оптимальних рішень для конкретних виробничих

⁵Authors: Zhuk Arina, Zakharchenko Petro, Onoprienko Valery

Number of characters: 17512

Author's sheets: 0,44



умов. Недостатня кількість комплексних досліджень, що систематично порівнюють та оцінюють різні технології виробництва ніздрюватого бетону, ускладнює для вітчизняних підприємств прийняття обґрунтованих рішень щодо модернізації та розвитку власного виробництва.

Зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Проведення бенчмаркінгового аналізу технологій виробництва ніздрюватого бетону, що застосовуються такими лідерами галузі як "Ітонг", "Сіпорекс", "Хебель", "Дюрокс-Калсилокс", "Маза-Хенке" та "Верхан", має безпосередній зв'язок із вирішенням низки важливих наукових та практичних завдань.

Наукові завдання:

- Систематизація та порівняльна оцінка сучасних технологій виробництва ніздрюватого бетону за ключовими параметрами (рівень автоматизації, ефективність використання ресурсів, гнучкість виробництва, якість продукції).

- Виявлення ключових технологічних відмінностей між виробничими лініями провідних компаній та визначення факторів, що впливають на їх ефективність.

- Розробка науково обґрунтованої методології бенчмаркінгового аналізу в галузі виробництва будівельних матеріалів, зокрема ніздрюватого бетону.

- Ідентифікація перспективних напрямів для подальших наукових досліджень у сфері технологій виробництва ніздрюватого бетону, спрямованих на їх оптимізацію та інноваційний розвиток.

Практичні завдання:

- Надання вітчизняним підприємствам об'єктивної інформації для прийняття обґрунтованих рішень щодо вибору, модернізації або розробки нових технологічних ліній виробництва ніздрюватого бетону.

- Визначення найкращих практик у галузі виробництва ніздрюватого бетону, які можуть бути адаптовані та впроваджені на вітчизняних підприємствах для підвищення їх конкурентоздатності.

- Оцінка можливостей впровадження окремих технологічних рішень, що



використовуються провідними світовими компаніями, в умовах вітчизняної промисловості з урахуванням економічних, ресурсних та інфраструктурних особливостей.

– Сприяння підвищенню якості вітчизняної продукції з ніздрюватого бетону та розширенню її застосування у будівельній галузі.

Актуальність.

Таким чином, дане дослідження є актуальним і має значний науково-практичний потенціал, спрямований на підвищення ефективності та конкурентоздатності вітчизняної промисловості ніздрюватого бетону шляхом вивчення та адаптації передового світового досвіду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В дослідженні ми спиралися передусім на первинні дані про технології виробництва ніздрюватого бетону провідних світових компаній. Ключовим джерелом є наш власний аналітичний огляд та порівняльний аналіз технічної інформації таких гігантів галузі, як "Ітонг", "Сіпорекс", "Хебель", "Дюрокс-Калсилос", "Маза-Хенке" та "Верхан". Ця робота включає збір, обробку та зіставлення технічних характеристик їхнього обладнання, описів виробничих процесів, рівня автоматизації, даних про ефективність використання ресурсів та якість кінцевої продукції, отриманих безпосередньо з технічної документації компаній та інших доступних джерел.

Крім того, ми враховуємо нормативну документацію, зокрема німецькі будівельні норми DIN 4165, DIN 4166, DIN 4223 та, можливо, радянські SBN-67. Ці стандарти слугують важливим контекстом для розуміння існуючих вимог до ніздрюватого бетону та можуть бути використані як критерії оцінки якості продукції, виробленої за різними технологіями. Особливо важливо це при заміні старих радянських ліній «Універсал-60» сучасними європейськими.

Мета.

Метою цієї статті є проведення бенчмаркінгового аналізу сучасних технологій виробництва ніздрюватого бетону, що застосовуються провідними світовими компаніями ("Ітонг", "Сіпорекс", "Хебель", "Дюрокс-Калсилос",



"Маза-Хенке", "Верхан"), з метою виявлення найкращих практик та визначення перспектив їхнього впровадження у вітчизняну промисловість для підвищення ефективності виробництва та якості ніздрюватобетонних виробів.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для досягнення поставленої мети та вирішення наукових завдань у цій статті проведено порівняльний аналіз технологій виробництва ніздрюватого бетону провідних світових компаній. Нижче представлено детальний опис кожної технології з акцентом на ключових параметрах, що становлять основу для подальшої систематизації та оцінки.

Теоретично-наукова частина дослідження.

В сучасних технологіях, що розроблені фірмами «Хебель», «Ітонг», «Верхан», «Маза-Хенке», «Хесс», «Хеттен», «W+K» (Німеччина), «Сіпорекс» (Швеція, Фінляндія), «Дюрокс», «ЕЙРКРІТ ДЮРОКС» (Нідерланди), Н+Н (Данія, Великобританія), для отримання якісного автоклавного ніздрюватого бетону марки D400-500 за даними Європейської асоціації виробників бетону, найкраще всього застосовувати вапно активністю 92%. Використання вапна нижчої активності може привести до непередбачених технологічних зупинок ліній.

Технологія фірми "Ітонг". Технологія "Ітонг" була створена у Швеції у 1920-х роках і на сьогодні широко застосовується у світі. Основними компонентами є пісок, вапно, цемент, гіпс та алюмінієва суспензія. Особливістю технології є високий рівень автоматизації виробництва: від підготовки сировини до упакування готової продукції. Виробництво передбачає використання кульових млинів для помелу піску з високими витратами електроенергії. Технологія "Ітонг" відрізняється стабільною якістю продукції, високим рівнем контролю процесу, енергоефективністю через повторне використання шламу та пари. Водночас складність процесу та високі капітальні витрати є значними викликами.

Технологія фірми "Сіпорекс". "Сіпорекс" також є шведською технологією, започаткованою у 1930-х роках. Виробничий процес передбачає використання



цементу, піску, вапна, гіпсу та спеціальних добавок. Пісок піддається мокрому помелу, далі компоненти автоматично дозуються та змішуються. Готовий масив проходить автоклавну обробку та точне різання на спеціалізованих установках. Вироби часто армуються, що дозволяє створювати конструкційні блоки високої міцності. Перевагами технології є точна геометрія продукції та відповідність ви стандартам. Недоліками є висока енергоємність процесу та чутливість до якості вихідних матеріалів.

Технологія фірми "Хебель". Технологія "Хебель" була розроблена у Німеччині в 1943 році та включає в себе виробництво армованих великоформатних виробів. Технологічний процес характеризується високим рівнем автоматизації та контролю якості. Основні етапи включають змішування сировини (піску, гіпсу, цементу, вапна), автоклавну обробку під високим тиском та тривалий процес тверднення. Важливою особливістю є повторне використання відходів виробництва, що робить процес екологічно чистим. Однак, складність технології, великі капітальні вкладення та значні витрати енергоресурсів обмежують її доступність для малого та середнього бізнесу.

Технологія "Дюрокс-Калсилос". Ця технологія призначена для високопродуктивного виробництва (до 250 тис. м³ продукції на рік). Основні етапи включають подрібнення сировини в кульових млинах, вертикальне змішування, формування та автоклавну обробку. Армування виконується вручну, а різання виробів здійснюється автоматичними установками з регульованими параметрами. Технологія забезпечує високий рівень продуктивності та гнучкості виробництва. Недоліками є висока енергоємність процесу та необхідність висококваліфікованого персоналу.

Технологія фірми "Маза-Хенке". Компанія "Маза-Хенке" пропонує повністю автоматизовані лінії, що охоплюють усі стадії виробництва: від подрібнення сировини (кварцовий пісок, цемент, вапно) до упаковки готових блоків. Важливими особливостями є точність геометричних параметрів виробів та можливість фрезерування захватів для зручності монтажу. Процес керується автоматизованими системами, що гарантують стабільну якість. Водночас високі



початкові витрати на обладнання та жорсткі вимоги до якості матеріалів є суттєвими обмеженнями.

Технологія фірми "Верхан". Технологія "Верхан" базується на модульному підході, що дозволяє адаптувати виробничі лінії до конкретних потреб клієнтів. Основними елементами виробництва є пісок (або зола), цемент, вапно, вода та алюмінієва суспензія. Різання масивів здійснюється струнами з пневматичним натягом, що забезпечує високу точність. Технологія "Smart" дозволяє підвищити точність геометрії виробів шляхом зміни положення масиву після різання. Основними перевагами є гнучкість налаштування, швидкість адаптації до нових умов виробництва, високий рівень автоматизації та точність продукції. Висока вартість обладнання є основним недоліком, який компенсується перспективами довгострокової ефективності.

Практична частина дослідження.

На основі здійсненого порівняльного аналізу технологічних процесів лідерів світового ринку ніздрюватого бетону ("Ітонг", "Сіпорекс", "Хебель", "Дюрокс-Калсилокс", "Маза-Хенке", "Верхан"), визначено наступні практичні цілі, орієнтовані на потреби та розвиток вітчизняної промисловості.

Надання об'єктивної інформації для прийняття рішень. Опис технологій "Ітонг", "Сіпорекс", "Хебель", "Дюрокс-Калсилокс", "Маза-Хенке" та "Верхан" з виокремленням їхніх переваг, недоліків, рівня автоматизації, вимог до ресурсів та якості продукції слугує цінним джерелом інформації для вітчизняних виробників. Це дозволяє їм отримати чітке уявлення про існуючі технологічні рішення, їхні особливості та потенційні наслідки впровадження при виборі, модернізації або розробці нових виробничих ліній.

Визначення найкращих практик для адаптації. Аналіз технологій лідерів галузі виявляє низку найкращих практик, які можуть бути адаптовані вітчизняними підприємствами. Наприклад:

- Високий рівень автоматизації для стабілізації якості та зниження впливу людського фактору (як у "Ітонг", "Хебель", "Маза-Хенке", "Верхан").
- Повторне використання відходів виробництва для підвищення



екологічності та зниження собівартості ("Ітонг", "Хебель").

- Модульний підхід до побудови виробничих ліній для гнучкості та адаптивності ("Верхан").

- Можливість армування виробів для розширення сфери застосування ("Сіпорекс", "Хебель").

- Забезпечення високої точності геометричних параметрів виробів для полегшення монтажу ("Сіпорекс", "Маза-Хенке", "Верхан").

Оцінка можливостей впровадження з урахуванням вітчизняних умов. Опис кожної технології містить інформацію про її вимоги до капітальних вкладень, енергоспоживання, кваліфікації персоналу, якості сировини та продуктивності. Це дозволяє вітчизняним підприємствам оцінити можливості впровадження окремих технологічних рішень з урахуванням їхніх економічних ресурсів, наявної інфраструктури, доступності сировини та рівня кваліфікації персоналу. Наприклад, технології з високими капітальними витратами можуть бути менш привабливими для малих та середніх підприємств, тоді як модульний підхід може бути більш гнучким для адаптації до різних виробничих потреб.

Сприяння підвищенню якості та розширенню застосування. Детальний аналіз технологій, що забезпечують високу якість продукції (наприклад, "Ітонг", "Сіпорекс", "Маза-Хенке", "Верхан" з їхнім контролем якості та точністю геометрії), а також технологій, що дозволяють виробляти продукцію з розширеними функціональними можливостями (наприклад, армований ніздрюватий бетон від "Сіпорекс" та "Хебель"), може стимулювати вітчизняні підприємства до впровадження практик, що сприятимуть підвищенню якості їхньої продукції та розширенню її застосування у будівельній галузі.

Підсумок та висновки.

Проведений бенчмаркінговий аналіз технологій виробництва ніздрюватого бетону провідних світових компаній виявив значну варіативність у технологічних рішеннях, де кожна компанія демонструє унікальні особливості у виборі сировини, рівні автоматизації, організації виробничих процесів та кінцевих характеристиках продукції. Більшість розглянутих технологій ("Ітонг",



"Хебель", "Маза-Хенке", "Верхан") відзначаються високим рівнем автоматизації, що є свідченням прагнення до стабільної якості, зниження собівартості та мінімізації впливу людського фактору. Водночас спостерігається баланс між продуктивністю та гнучкістю, де технологія "Кальцилокс-Дюрекс" акцентує на високій продуктивності та гнучкості, а "Верхан" вирізняється модульним підходом та швидкою адаптацією. Використання технологій «Хебель» та «Кальцелокс-Дюрекс», які передбачають формування масивів ніздрюватого бетону, що можна запарювати в автоклавах діаметром 2,6-2,8 метра, доцільно застосовувати при реконструкції заводів силікатної цегли для виробництва газобетонних виробів (без заміни автоклавів).

Важливим аспектом є також ресурсоефективність та екологічність, які демонструють окремі технології ("Ітонг", "Хебель") через повторне використання відходів виробництва. Вибір та підготовка вихідної сировини суттєво впливає на технологічний процес та енергоспоживання. Ключовими факторами конкурентоздатності є точність геометричних параметрів ("Сіпорекс", "Маза-Хенке", "Верхан"), можливість армування ("Сіпорекс", "Хебель") та надання додаткових функцій. За результатами бенчмаркінгового аналізу встановлено, що найбільш перспективною для впровадження у вітчизняну промисловість є технологія компанії "Верхан". Вона демонструє найвищий рівень гнучкості, автоматизації, точності виробництва та можливості адаптації до різноманітних виробничих умов. Незважаючи на високі початкові інвестиції, саме ця технологія здатна забезпечити підприємствам довгострокові переваги у якості продукції, ефективності використання ресурсів та конкурентоспроможності на будівельному ринку.

Слід зазначити, що впровадження передових технологій пов'язане зі значними капітальними витратами, потребою у висококваліфікованому персоналі та жорсткими вимогами до якості сировини, що є важливими викликами для вітчизняних підприємств. Проте, проведений аналіз виявив низку перспективних напрямів для модернізації вітчизняного виробництва ніздрюватого бетону, включаючи впровадження елементів автоматизації,



практик ресурсозбереження та технологій, що забезпечують високу якість та розширені функціональні можливості продукції. Адаптація найкращих світових практик з урахуванням місцевих економічних та ресурсних умов може суттєво підвищити конкурентоздатність вітчизняних виробників.