

Технологія будівельного виробництва

УДК. 624.012.44.001.76

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНОЛІТНОГО ДОМОБУДУВАННЯ

Т. Е. Потапова, Т. В. Прилипко, Ю. М. Гайковська

Дана робота висвітлює ступінь забезпеченості будівельної галузі новітніми технологіями, проаналізована закордонна практика впровадження інновацій. Наведений приклад застосування інноваційних технологій в монолітному будівництві, зокрема використання автоматизації робіт та впровадження нанотехнологій у виробництво бетону.

Данная работа освещает степень обеспеченности строительной отрасли новейшими технологиями, проанализирована зарубежная практика внедрения инноваций. Приведенный пример применения инновационных технологий в монолитном строительстве, в частности использование автоматизации работ и внедрения нанотехнологий в производство бетона.

This work highlights the degree of the construction industry the latest technology to analyze the practice of foreign innovation. The example application of innovative technologies in the monolithic construction, including the use of automation and introduction of nanotechnology in concrete production.

Вступ

Темпи розвитку міського середовища в цілому та будівництва зокрема потребують введення інноваційних технологій у житлове будівництво. Аналіз сучасних тенденцій впровадження нових будівельних технологій і матеріалів в економічно розвинутих країнах світу дозволяє стверджувати, що основою динамічного введення в практику на ближчі 10-20 років стануть матеріали і технології, отримані на основі досягнень і розробок в області нанотехнологій. Стрімкий розвиток новітніх технологій з однієї сторони передбачає використання досягнутих результатів фундаментальних досліджень в прикладних областях будівельної галузі, а з іншої – сам розвиток нанотехнологій неможливий без нових підходів до проектування і будівництва об'єктів [1]. Розглянуто шляхи застосування досліджень інноваційних технологій, зокрема: приготування та забезпечення визначених властивостей наноматеріалів, їх характеристика та пояснення відомих процесів на нанорівні. Аналізовані найбільш значущі сучасні досягнення закордонної науки та практики в області монолітного будівництва, і зокрема виробництва та застосування бетонів, в тому числі їх різновидів, розглянуто перспективи розвитку матеріалу [2].

Постановка задачі

Функціонування будівельної галузі неможливе без впровадження глобальних інноваційних рішень. Майбутнє галузі – за матеріалами, які мають мінімальне енергоспоживання під час виробництва та низькі витрати використання матеріалів при будівництві; за технологіями, що значно скоротять тривалість та трудомісткість робіт.

Застосування нанотехнологій є важливими у монолітному будівництві, оскільки об'єм монолітного будівництва в Україні з кожним роком зростає. Відносна простота і висока швидкість зведення монолітних конструкцій змушує все більше будівельних компаній переходити на цей метод зведення каркаса будівель або його елементів. Проте, не дивлячись на популярність використання бетону, будівельники не використовують сучасні методи та інноваційний підхід при зведенні монолітних конструкцій, які вже давно використовуються в США, Японії та інших країнах [3]. Тому питання про інноваційний прорив у будівельній галузі є досить актуальним.

Метою роботи є дослідження розвитку інновацій в будівельній галузі; висвітлення закордонного досвіду впровадження нанотехнологій; розкриття суті інноваційних підходів у монолітному будівництві, зокрема у автоматизації робіт та виготовлення бетону з використанням нанотехнологій.

Виклад основного матеріалу

Фактори, які обмежують впровадження інновацій. Нові підходи до житлового будівництва з'являються, але не приймаються, будівельні технології обновлюються епізодично, а інновації носять непринциповий характер.

Головні обмежувачі масового впровадження інновацій у житловому будівництві – організаційно-управлінські бар'єри. Щоб їх усунути, держава повинна розставити акценти в містобудуванні і задати житлові стандарти на найближчі десятиліття [4].

Обмеження у впровадженні інновацій залежить від багатьох чинників.

По-перше: держава керується єдиним параметром - квадратура житла. Сьогодні алгоритм реалізації будівельного проекту простий. Забудовники купують ділянку землі, обраховують, скільки в будинку буде m^2 житлової площі, за якою ціною їх можна продати і виходячи з цього ставлять завдання проектувальникам. Ті в свою чергу розробляють проект, уникаючи нестандартних ходів та застосування нетрадиційних будівельних матеріалів і технологій.

По-друге: інноваційні пориви стримуються адміністративними бар'єрами і нормативами. Наприклад, в усьому світі використання попередньо напруженого бетону дозволяє забудовникам економити конструктивну арматуру при зведенні висотних будинків. Проте діючі у нашій країні будівельні норми змушують закладати таку кількість конструктивної арматури, що втрачається вся економія.

По-третє: нормативна документація закладає певний коефіцієнт запасу міцності конструкції. Потім проектувальник перестраховується, додаючи коефіцієнт власної безпеки. Не дивно, що збільшується переріз конструктивних елементів і, як наслідок, зростає витрата арматури.

По-четверте: знижує динаміку впровадження інновацій погана якість будівельних матеріалів. Найчастіше вони випускаються на технологічних лініях 60-70-х років. Через низьку якість та технологічну неохайність питомі показники витрати матеріалів на m^2 площі дуже високі.

Стимулом для інноваційного прориву може послужити криза продажів нерухомості, а також неминуче (в умовах збільшення обсягів будівництва) зростання цін на основну групу будівельних матеріалів, на сировину для їх виготовлення, енергоресурси, а також збільшення витрат на заробітну плату та інших витрат.

І все ж, незважаючи на всеосяжний консерватизм будівельної галузі, регулярно з'являються нововведення, які, не змінюючи радикально технологічного укладу, забезпечують зниження вартості будівництва і експлуатації житла, скорочення термінів будівництва, підвищення якості та комфортності. Останні великі зміни пов'язані з такими новаціями, як перехід до збірно-монолітного каркасного житлового будівництва, використання технології незнімної опалубки, поліпшення якості бетону за рахунок різного роду добавок, які покращують його конструкційні властивості, впровадження різних нових матеріалів (поризованої цегли, композиційних матеріалів, пластиків та ін.). Знижується матеріалоємність виробництва, а технологічні операції виносяться за межі будмайданчика [3].

Впровадження інновацій іноземними фахівцями. Нововведення на будівельному ринку час від часу з'являються – і в основному завдяки розвитку висотного будівництва.

Найбільш розвинутими в технологічному відношенні вважаються японські будівельники. Історія японського житлового будівництва (і будіндустрії в цілому) являє собою унікальний приклад багаторічної продуманої стратегії інноваційного розвитку галузі. Найбільші японські корпорації мають передові технології проектування і будівництва суперсучасних хмарочосів, їх заводи обладнані спеціальними кімнатами (cleanrooms) для автоматизованого складання високотехнологічних компонентів і тривимірного проектування. Нарешті, що особливо істотно, вони використовують найбільш сучасні технології роботизації та комп'ютерної автоматизації будівельних процесів і зведення «інтелектуальних» будинків (з автоматизованими системами життєзабезпечення), а також масового використання заводських модульних конструкцій (prefabricated modular devices).

До числа найбільш значимих технологічних інновацій можна віднести автоматичні системи обробки підлог, машини для потокового заводського виготовлення залізобетонної арматури, зварювальні та фарбувальні роботи з АСУ, безоператорні автотранспортні й гігантські роботи-маніпулятори, завдяки яким на будівельному майданчику вдається домогтися

значного скорочення числа робочих.

Особливо ефективні методики були запропоновані японськими інженерами і технологами в високоповерховому житловому будівництві. Так, масове застосування автоматичних підлогових домкратів дозволило різко скоротити терміни будівельних робіт: висотні будівлі росли приблизно в два рази швидше, ніж за традиційними методиками. Автоматизована система дозволяє не тільки скоротити терміни будівництва (всі будівельні роботи в такому режимі ведуться за цілодобовим графіком), але і домогтися істотного зниження питомих трудовитрат і виробничого травматизму. Так, за оцінками фахівців, при зведенні за даною технологією двадцятиповерхової будівлі трудовитрати, вимірювані в людино-годинах, в середньому скорочуються на 30 % [3].

Ще один яскравий приклад інноваційного будівництва демонструє корпорація Mirax Group. При заливанні найбільшої в Європі фундаментної бетонної плити вежі «Федерация» застосовувався модифікований бетон, склад якого був розроблений московським НДІ залізобетону спільно з НДІ будівельної фізики на замовлення компанії «Mirax-Citi». Значна частина конструкцій каркаса до 36-го поверху - колони і стіни ядра жорсткості, а також фрагменти перекриттів виконуються з високоміцного бетону класу В80.

Інноваційні підходи в монолітному будівництві. В будівництві інноваційні підходи можливі з різних сторін. З однієї сторони, ефективною технологією є використання нового автоматизованого інструменту при виконанні арматурних робіт, що значно прискорює терміни роботи та зменшує її трудомісткість.

З іншого боку чи не найголовнішими роботами у сучасному будівництві є бетонні роботи, тому вони є ідеальними кандидатами для застосування наноправління і контролю властивостей. Дослідження складної структури бетонів, яка частково знаходиться на нанорівні, дають змогу створювати нові види бетонів. При цьому програмоване використання хімічних добавок в бетон може забезпечити максимальну ефективність на будмайданчику.

Також нанотехнологія є необхідним інструментом для розуміння різних процесів, що протікають при гідратації матеріалів, до складу яких входить цемент, – розвитку мікроструктури, взаємодії мінеральних і хімічних добавок з матеріалами та гідратного новоутвореннями. Формування матеріалів нанокompatитним включенням може забезпечити можливість для розробки хімічних добавок, що додаються в бетон на будівельному майданчику [5].

Практична цінність від впровадження інноваційних технологій

1. Введення інноваційних технологій, зокрема автоматизація арматурних робіт, значно зменшує тривалість таких робіт.

Якщо розбити послідовно роботу із заливки однієї стіни на ділянці, то вийде три види робіт: зв'язування арматурних стержнів (хлестів) в арматурний каркас (грати), встановлення опалубки, останній етап – заливання бетону. Причому встановлення або монтаж опалубки займає 10-15 % зі всього часу, заливання – біля 20 %. Виходить, що 55 % часу витрачається на парування (зв'язку) арматурних стержнів і поки не зав'язана арматура, не можна проводити інші роботи [6].

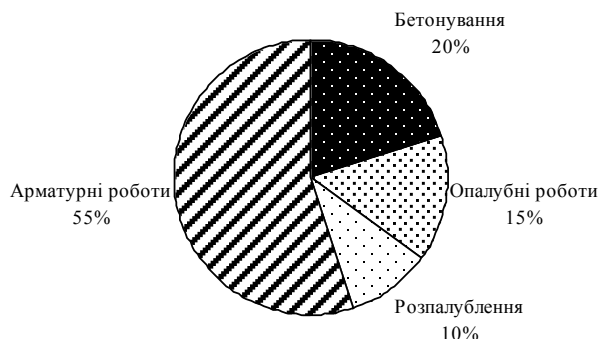
Вперше на ринку будівельного інструменту з'явився пневматичний пістолет з робочим тиском 20 бар, завдяки розробкам інженерів японської фірми MAX. Це в'язальний пістолет, тобто пістолет для зв'язування арматури. Саме це диво техніки визнано кращою інновацією в монолітному будівництві за останні десятиріччя. 99 % в'язальних пістолетів і витратних матеріалів йде в США і Європу [6].

Швидкість зв'язування одного вузла такою машиною менше однієї секунди відповідно за хвилину з урахуванням перестановки пістолета на нове місце перерізу арматури, тобто за хвилину можна зав'язати близько 52 вузлів, це більш ніж у шість разів швидше ніж може виконати в'язальник арматури. Таким чином пістолет замінює шістьох людей, і вивільняє час для проведення робіт на іншому об'єкті (рис. 1).

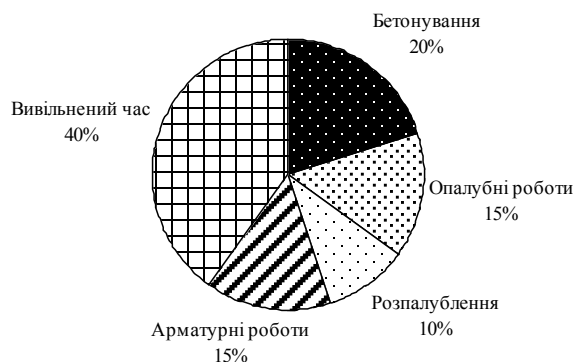
Паралельно із розробкою засобів механізації виникають труднощі із введення цих засобів у будівництво.

Це пов'язане з такими факторами, як:

- страх робітників втратити роботу, оскільки ефективність обладнання дуже висока;
- велика вартість іноді затримує впровадження в будівельні роботи механізмів;
- стереотипи, які склалися, встановлені досвід, звички.



а) трудомісткість робіт із заливання монолітної ділянки без застосування в'язального пістолета



б) трудомісткість робіт із заливання монолітної ділянки із застосуванням в'язального пістолета

Рис. 1. Діаграми розподілу трудомісткості

Проте такі переваги, як збільшення обсягу бетонних робіт та прискорення темпів їх здійснення, можливість працювати при низьких температурах (близько $-15^{\circ}\dots-20^{\circ}\text{C}$) значно прискорюють темпи введення останніх розробок в будівельну галузь.

Також будівництво, і в тому числі виробництво будівельних матеріалів, може отримати більшу вигоду від застосування нанотехнології в автоматизації і роботизації виробництва та використання будівельних матеріалів, при розробці змішувачів, що не мають рухомих частин, і бетонів, які самоущільнюються [2].

2. Нанопроцеси, які проходять при гідратації цементу.

Вже вивчено вплив на гідратацію портландцементу розміру частинок доменного шлаку та інших мінеральних добавок; встановлено, що більш дрібні частинки мінеральних добавок реагують швидше і сприяють досягненню більшої міцності. Різні процеси, що протікають в цементі і бетоні, як, наприклад, кінетика гідратації, утворення тріщин і пор, взаємодія цементу з мінеральними добавками, утворення С-S-N структури, взаємодія луку з кремнеземом і т. п., були детально вивчені, причому протікаючі процеси трактували, використовуючи поняття макро- і мікропереносу.

Проте в наш час ці процеси вивчають на нанорівні за допомогою растрової електронної мікроскопії та інших подібних методів. Завдяки використанню растрової електронної мікроскопії стало можливим отримати зображення більшості систем в природному стані, що забезпечує більш достовірну інформацію про їх структуру на нанорівні.

Гідратація цементу є екзотермічним процесом, який складається з ряду складних, що

визначають його кінетику хімічних реакцій. Мінеральні і хімічні добавки також впливають на гідратацію. У цементному тісті домінують гідросилікати кальцію (CSH), але також містяться гідроксид кальцію (CH), еттрінгіт (AFt), моносольфат (AFm) і невелика кількість інших складових, таких як гідрогранат і т. п. У ході гідратації вміст різних гідратних новоутворень змінюється, а структура переходить з нанорівня (гелева структура гідратних новоутворень) на мікрорівень, відповідний розміру цементних частинок і навіть на міліметровий рівень, який відповідає розміру заповнювача бетону. Тому можливість розгляду на нанорівні дуже важлива для розуміння процесу гідратації [7].

3. Застосування бетонів зі зміненими властивостями.

Поява бетонів ультрависоких технологій («Ultra high performance concrete» – УНРС), де міцність на стиск в 200 Н/мм^2 і вище досягається досить легко, а попередньо напружена арматура в конструкціях з УНРС створює такий високий стиск, що дозволяє повністю виключити появу тріщин при експлуатаційних навантаженнях, відкриває абсолютно нові, буквально революційні можливості. Конструкції з УНРС мають значно меншу площу поперечного перерізу, більший прогін і досить довговічні. Остання перевага забезпечується високою щільністю бетону, що перешкоджає поширенню корозії як самого бетону, так і сталевій арматури при дії різних агресивних факторів, в т. ч. циклів заморожування-відтавання, солей, які запобігають обмерзанню і т. д.

У лабораторних умовах отримано УНРС міцністю на стиск до 500 Н/мм^2 , тобто матеріал міцніше звичайної сталі. Але з використанням досягнень нанотехнологій, що вже застосовуються в інших галузях науки і промисловості, в структуру бетону можуть бути введені наночастинки для збільшення щільності, а в'яжуче вдосконалено на квазіатомному рівні, що додасть бетону нові, зовсім унікальні властивості, в тому числі дозволить створити так звані бездефектні бетони. Використання атомно-силової мікроскопії дозволяє досліджувати на нанорівні процеси взаємодії та механізми реакції гідратації цементу, хімічних добавок, наповнювачів і пуцоланової реакції мікронаповнювача. Виявлене у дослідженнях зростання мікроструктури зразка гранули клінкеру при його обробці демінералізованою водою намічає можливі шляхи до оптимізації УНРС, особливо щодо їх міцності і довговічності.

Певний оптимізм викликають результати дослідів із застосування фібр як вуглецевих нанотрубок з метою зміцнення цементної матриці. Нанотрубки, які були винайдені в Японії, мають міцність на розрив, яка майже в 100 разів перевершує міцність сталі. Ці трубки надзвичайно стійкі до проявів корозії і тому становлять значний інтерес для будівництва – для удосконалення бетону. Попередні досліди показали, що введення навіть порівняно невеликої кількості нанотрубок як нанофібр надає позитивний ефект на механічні характеристики композиту. Роботи будуть продовжені в напрямку поліпшення зчеплення нанофібр з матрицею і вибору оптимальних розріджувачів полікарбоксилатного типу з різною довжиною бічних ланцюгів [8].

Узагальнення результатів пошукових експериментів за впливом активованої води на міцність бетонів свідчить про можливість підвищення міцності при стисканні бетонів на 20-35% і пінобетонів - на 50 % у порівнянні із зразками, розчиненими звичайною неактивованою водою. Оцінки показують, що пропонувані інновації забезпечать зниження мас споруджуваних будинків і навантажень на фундаменти на 10-20 %

Досить перспективним є спільне використання декількох нанотехнологій, наприклад, активованої води, високодисперсних вихідних матеріалів і нанодисперсної арматури [9].

Висновки

- Аналіз будівельної діяльності підтверджує, що основним напрямком розвитку монолітного домобудування на ближчі 10-20 років є створення нових будівельних матеріалів, в тому числі і на основі нанотехнологій а також впровадження автоматизації робіт.
- Використання автоматичних приладів прискорює виконання робіт, скорочує майже вдвічі трудомісткість, зменшує кількість людей, зайнятих ручною працею, стимулює робітників для підвищення кваліфікації та дає можливість збільшувати обсяги робіт, а відповідно і заробітну плату.
- Бетони зі зміненими властивостями за рахунок ультрависоких технологій, нанотехнологій, нанотрубок та використання демінералізованої води дають можливість розвитку досліджень в цьому напрямку для зведення будівель та споруд, які будуть мати меншу вагу і зменшать

навантаження на фундаменти, що в свою чергу приведе до економії матеріалів та зменшення працевтрат при будівництві.

Використана література

1. Мирзаев А. В. Классификационные критерии в оценке эффективности инноваций в строительстве / А. В. Мирзаев // Жилищное строительство. – 2001. – № 8.
2. Родионов Р. Б. Инновационный потенциал нанотехнологий в производстве строительных материалов / Р. Б. Родионов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2006. – № 8. – С. 72-75.
3. Ананьев А. И. Инновации в строительстве / А. И. Ананьев, В. П. Трамбовецкий // Строительная газета. – 2007. – № 23 (9930).
4. Враги строительных инноваций / И. Ступин // Эксперт. – Режим доступа до журн.: <http://www.printissues/expert/2007>.
5. Middendorf V. Nanoscience and nanotechnology in cementitious materials / Middendorf V., Singh N. B. // Cement International. – 2006. – № 4. Pp. 80-86.
6. Инновационные технологии в монолитном строительстве. / А. Пронин. – Режим доступа до статті: <http://www.maxcorp.ru/>
7. Исследования и технология цемента и материалов на его основе на наноуровне / Строительные материалы – 20.02.2007. – № 1. – 2007.
8. Королев Е. В. Модифицирование строительных материалов наноглеродными трубками фуллеренами / Е. В. Королев, Ю. М. Баженов, В. А. Береговой // Строительные материалы. – 2006. – № 8. – С. 2-4.
9. Ермолаев Ю. М. Повышение прочности пенобетона при использовании структурированной воды / Ю. М. Ермолаев, Б. Н. Родионов, Р. Б. Родионов // Технологии бетонов. – 2006. – № 2. – С. 54. – Библиогр.: 3 назв.

Потапова Тетяна Едуардівна – асистент кафедри містобудування та архітектури Вінницького національного технічного університету;

Прилипко Тетяна Володимирівна – асистент кафедри містобудування та архітектури Вінницького національного технічного університету;

Гайковська Юлія Михайлівна – студентка Вінницького національного технічного університету.