

УДК 666.97

*Лаповська С.Д., канд. техн. наук,  
зав. лабораторії БМСП,  
ДП "НДІБМВ", м. Київ*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Завдання сучасного будівельного матеріалознавства, в яких розкриваються закономірності зв'язку властивостей між складом, структурою і технологією, відрізняються багатовимірністю і, як наслідок, наявністю неоднозначних синергетичних ефектів від дії безлічі чинників. Подібного класу завдання успішно можуть вирішуватися при використанні ймовірнісно-статистичного підходу і комп'ютерної технології дослідження будівельних матеріалів (БМ) на основі методології і методів математичної теорії планування експериментів МТПЕ [1, 2]. Методологія і методи експериментально-статистичного (ЕС) моделювання дозволяють отримувати нову наукову інформацію за рахунок можливості обліку численних взаємодій і взаємовпливу між сукупністю досліджуваних параметрів.

Математична теорія планування експерименту замінює інтуїтивний підхід до організації експерименту науково обґрунтованою програмою дослідження, суб'єктивні оцінки поступаються місцем достатньо надійним статистичним оцінкам результатів експерименту на всіх послідовних етапах дослідження. Метою планування експерименту є побудова експериментально-статистичних (ЕС) моделей з подальшою перевіркою їх на адекватність.

Математична модель складного об'єкту може включати всі найбільш істотні чинники, незалежно від їх фізичної природи. Така модель може бути використана не тільки для управління властивостями будівельних матеріалів, але і для виявлення і оцінки ряду зв'язків в об'єкті, які могли не аналізуватися як малозначимі, або просто не помічалися.

Отримана в результаті ЕС аналізу інформація дозволяє коригувати і уточнювати уявлення, що склалися, про об'єкт, що вивчається.

З розвитком на початку 90-х років нового наукового напрямку у вигляді комп'ютерного матеріалознавства, що розвивається в працях Вознесенського В.А. і Ляшенко Т.В. [2], з'явилися принципово нові можливості аналізу, проектування і оптимізації будівельних матеріалів. У комп'ютерному матеріалознавстві, як один з безлічі можливих варіантів, проводиться аналіз і прогноз властивості по ЕС моделям, що описують вплив рецептурно-технологічних, експлуатаційних або інших чинників на параметри матеріалу. В даному випадку мова може йти і про параметри, які цікавлять дослідника з погляду фундаментальних закономірностей.

Комп'ютерні технології досліджень при аналізі результатів ЕС моделювання дозволяють підвищити їхню надійність і достовірність. В рамках комп'ютерних технологій ЕС-моделі і обчислювальні експерименти, що виконуються за цими даними, забезпечують тим більшу економію ресурсів за рахунок збільшення достовірності результатів і підвищення якості і надійності матеріалу, чим складніше завдання по кількості і взаємному впливу аналізованих чинників.

Ефективність ЕС моделювання в значній мірі залежить від фізичної постановки завдання, від правильності вибору методів дослідження і оптимізації, від глибини фізичної інтерпретації результатів.

Постановка досліджень ґрунтується на системно-структурному підході, відповідно до якого управління властивостями матеріалів визначається можливостями технологічних дій і чинників складу на характеристики структури і може бути здійснене при розкритті взаємозв'язків в ланцюзі "склад – технологія – структура – властивості".

В даний час системний підхід є одним з основних науково-методологічним принципом дослідження в рішенні завдань оптимізації, управління і аналізу складних систем, якими є будівельні матеріали. Складність і багатоплановість проблеми управління якістю матеріалів зумовлює використання системного підходу не тільки до об'єкту дослідження, але і до самого процесу наукового дослідження. Стратегія системного підходу при вивченні технології будівельних матеріалів із застосуванням методів ЕС моделювання складних систем для обробки і аналізу експериментальних даних розроблена в працях [2, 3, 4, 5]. Відповідно до основних принципів аналізу складних систем, на основі загальної методології складання блок-схем наукових досліджень із застосуванням математичної теорії планування експерименту [2], визначені основні етапи блок-схеми дослідження.

У блок-схемі, що приведено на рис.1, виділено основні етапи, що конкретизують основні завдання дослідження і забезпечують комплексний аналіз системи від постановки проблеми до практичної реалізації результатів. Основні етапи по проблематиці роботи, обумовленості вибору об'єкту дослідження, систематизації апріорної інформації, а також науково-методична частина, що включає формулювання гіпотези, мети і завдань дослідження повинні бути обґрунтовані на початку дослідної роботи. Це етап 1. Інші етапи визначають загальну стратегію вирішення поставлених завдань.

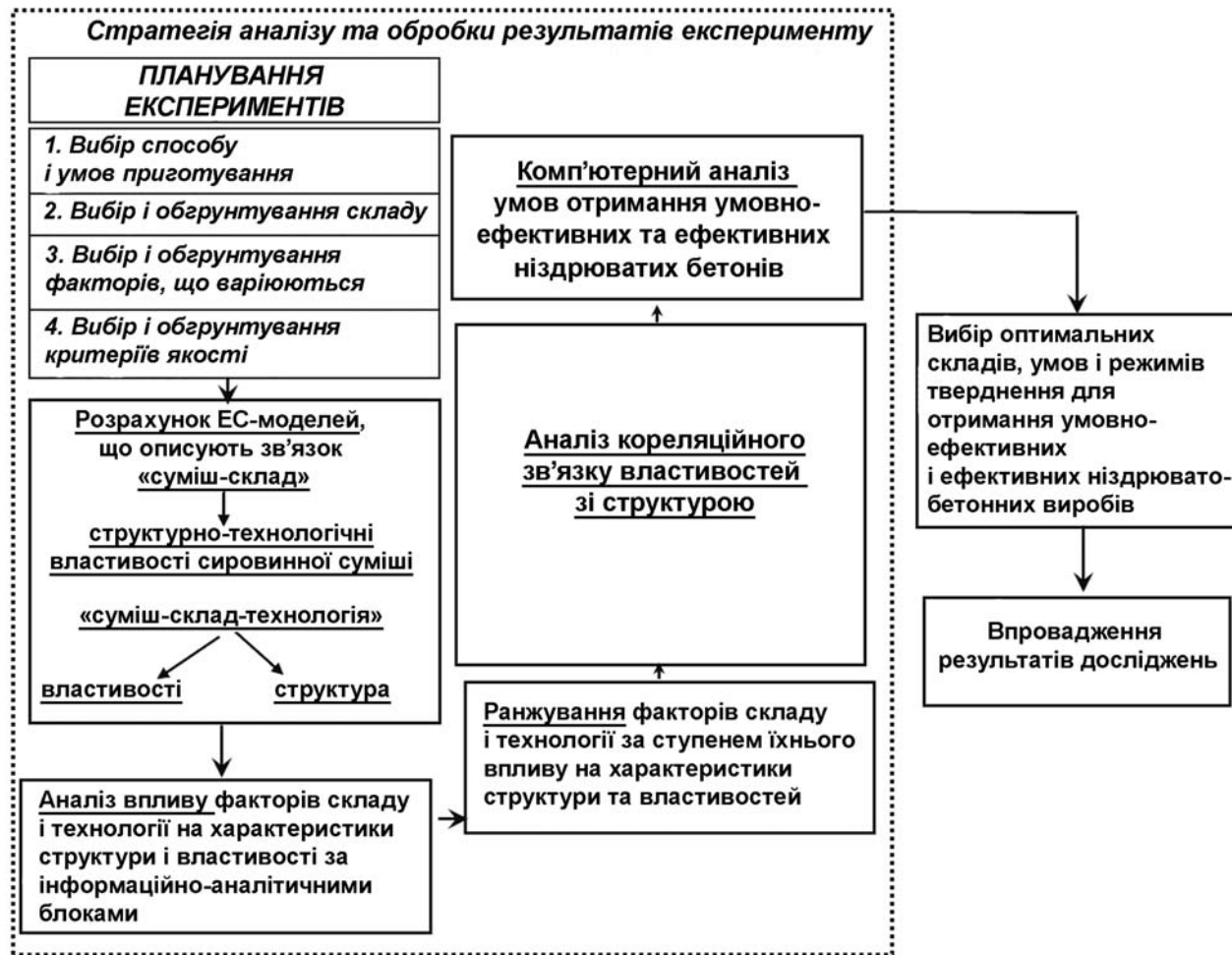
**Етап 2** – вибір критеріїв оптимізації ніздрюватого бетону, що задаються з аналізу поведінки матеріалу у відповідних умовах експлуатаційного середовища, обґрунтування рецептурно-технологічних чинників і меж їхнього варіювання з урахуванням необхідності отримання зразків матеріалу які відрізняються якісно і кількісно характеристиками структури. На цьому етапі передбачається проведення теоретичних розробок, що забезпечують підвищену точність результатів досліджень, швидкість обробки експериментальних даних і отримання нової техніко-економічної інформації про процес дослідження.

**Етап 3** – планування і проведення експерименту. Для вирішення завдань оптимізації і управління властивостями ніздрюватого бетону необхідне глибоке експериментальне вивчення загальних закономірностей зміни структурних параметрів на всіх рівнях структури і показників якості матеріалу під впливом рецептурно-технологічних чинників. Експериментальні дослідження включають визначення системи структурних параметрів і основних показників якості матеріалу по нових, стандартних і вдосконалених методиках.

**Етап 4** – математичне моделювання і аналіз результатів є основним. При вирішенні завдань управління і оптимізації необхідно отримати із заданою точністю описання поведінки системи. Практика показала, що найбільш зручні експериментально-статистичні моделі поліноміального типу, що враховують нелінійність впливу чинників, їх взаємозв'язок і вплив на параметри структури і властивості. Отриманий комплекс моделей структурних характеристик може бути використаний не тільки для аналізу, регулювання і оптимізації структури, а разом з комплексом моделей основних показників якості – для управління властивостями ніздрюватих бетонів різного функціонального призначення.

**Етап 5** – вирішення по моделях інженерних завдань оптимізації структури і властивостей виробі з модифікованого ніздрюватого бетону з урахуванням умов експлуатаційного середовища.

Вирішення завдань такого типу з використанням системного підходу як основного методологічного принципу дослідження сприяє комплексному вирішенню проблеми управління властивостями ніздрюватих бетонів, що виготовлені, як в наших дослідженнях, на некондиційних сировинних матеріалах.



**Рисунок 1 - Загальна блок схема дослідження**

Завдяки розробленню математичної моделі описаним шляхом були проведені статистичні дослідження взаємозв'язку параметрів сировинних матеріалів з характеристиками автоклавного ніздрюватого бетону. Визначені ступінь впливу кожного фактору - якості сировинних матеріалів на технологічні процеси та якість одержаного ніздрюватого бетону. За результатами дослідження теоретично обгрунтовано та експериментально підтверджено запропоноване рішення щодо усунення негативного впливу коливань параметрів якості сировинних матеріалів на властивості ніздрюватих бетонів.

Розроблена автоматизована система управління технологічним процесом виготовлення ніздрюватобетонних виробів за умов використання некондиційної сировини. На основі програмного визначення і встановлення взаємозв'язку реакційно-оптимальних складів ніздрюватого бетону та технологічних параметрів розроблено шляхи передачі їх на механізми, що виконують ці роботи.

Проведено ЕС дослідження автоклавного ніздрюватого бетону різної середньої густини, виготовленого на реакційно-оптимальних складах в порівнянні з виробничими складами та якістю ніздрюватого бетону, що випускається підприємствами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М., Вознесенский В.А. Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – 192 с.
2. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов // В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов. – К.: Будивельник, 1989.-240с.
3. Вознесенский В.А. Модели с генерированной ошибкой эксперимента для специальных критериев качества композитов. / Строительные материалы, конструкции и инженерные системы: Сб.тр. ОГАСА.- Одесса, 1996.-С.144-155.
4. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981 – 264 с.
5. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. Проблема построения комплексов математических моделей различной генерации для оптимизации высококачественных материалов в компьютерном материаловедении: Материалы к МОК'39. – Одесса, 2000. – С.5-7.