

**МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ**

**MATHEMATICAL METHODS AND MODELS FOR
CALCULATING BUILDING STRUCTURES FOR FIRE
RESISTANCE**

**Пасічник Р.В., к.т.н., доцент (Луцький НТУ, м. Луцьк),
Шаповал І.В, студент (Луцький НТУ, м. Луцьк), Кіриша К.В. студент
(Луцький НТУ, м. Луцьк)**

**Pasichnyk R.V., Ph.D., senior lecturer (Lutsk National Technical
University, Lutsk), Shapoval I.V., student (Lutsk National Technical
University, Lutsk), Kirysha K.V., student (Lutsk National Technical
University, Lutsk)**

У статті описано математичні методи розрахунку будівельних конструкцій на вогнестійкість. Детально розглянуто метод скінченних елементів. Досліджено можливості програмного комплексу ANSYS для розрахунку на вогнестійкість.

Because of the large amount of construction, the complexity of conducting fire tests there need for a computer-aided design. Analytical method describes the behavior of the system at any point. Numerical method approximates the exact solution only in discrete points. This article describes the mathematical methods of calculation of building structures on fire. Finite difference method and finite element method investigated. Studied the advantages of finite element method. Possibilities ANSYS software system for calculating fire resistance. The program ANSYS is a modern, developed and used in Ukrainian space. It is the possibility of raising the temperature of the nonlinear problem, and output the required calculation results to compare with experimental data.

Ключові слова: скінченно-різницевий метод, метод скінченних елементів, вогнестійкість, програмний комплекс.

Keywords: finite-difference method, finite element method, fire resistance, the software package.

У зв'язку з великим обсягом будівництва в нашій країні, трудомісткістю проведення вогневих випробувань та складністю теоретичного визначення меж вогнестійкості складних сучасних залізобетонних конструкцій існує ще багато невирішених питань у галузі впливу вогню на споруди та їх елементи. Існуючі лабораторії не можуть повною мірою задовольнити потребу в експериментальних натурних випробуваннях залізобетонних конструкцій на їх вогнестійкість та залишкову несучу здатність після пожежі, особливо в тих випадках, коли конструкції є громіздкими і мають складну конфігурацію.

Існує необхідність створення систем автоматизованого проектування, оскільки багато важливих технічних задач не можуть бути вирішені аналітично внаслідок складності геометрії конструкції і граничних умов. Тому для того, щоб врахувати реальні особливості досліджуваного матеріалу, доводиться вдаватися до чисельних методів розрахунку.

На відміну від аналітичного рішення, яке описує поведінку системи в будь-якій точці, чисельне рішення апроксимує точне рішення тільки в дискретних точках. Першим кроком при отриманні чисельного рішення є побудова дискретної моделі безперервної величини. Широко застосовуються два основні чисельні методи - метод скінченних різниць і метод скінченних елементів[2].

У методі скінченних різниць диференціальні рівняння, що описують фізичний процес, що відбувається, записуються для кожного вузла і частинні похідні за часом замінюються їх скінченно-різницеvim аналогом із застосуванням центральної різницевої схеми. Скінченно-різницевий метод дуже ефективний при рішенні простих задач, але його складно застосовувати при розв'язанні задач зі складною геометрією, нелінійними властивостями матеріалу конструкції або з складними граничними умовами[1].

Область застосування методу скінченних елементів охоплює практично всі фізичні задачі, які можуть бути описані диференціальними рівняннями. Основна ідея методу скінченних елементів полягає в тому, що будь-яку величину можна апроксимувати дискретною моделлю, яка будується на безлічі шматково-безперервних функцій, визначених на скінченному числі підобластей (елементів). Важливою є можливість виділити з набору

елементів типовий елемент і знайти безперервну функцію, що представляє наближене рішення для цього елемента невідривно від положення цього елемента в загальній зв'язній моделі і від функцій інших елементів, а потім отримати загальне рішення для всієї моделі, компонуючи ці частинні рішення, використовуючи при цьому безперервність функцій на межах елементів і граничні умови.

Все більшого поширення набувають чисельні методи розрахунку складних фізичних систем за допомогою програмних комплексів. Перевагами їхнього використання є збільшення точності, покращення дизайну і краще бачення критичних параметрів, швидке створення віртуальних і зменшення кількості реальних прототипів, пришвидшення та здешевлення проектування, збільшення продуктивності та прибутковості.

Розвиток методу скінченних елементів обумовлений взаємозв'язком трьох факторів: наявністю високопродуктивної обчислювальної техніки; розробленням математичних моделей досліджуваних явищ, які адекватні реальним процесам з достатнім ступенем точності; особливостями самого методу.

У кожній програмі є свої сильні і слабкі сторони при розрахунку конкретної конструкції. Вибір програми розрахунку залежить від підготовленості користувача в своїй науковій області, типу вирішуваної задачі, типу доступної ЕОМ, розмірності задачі і інших факторів.

Метод скінченних елементів (МСЕ) - чисельний метод рішення диференціальних рівнянь з частинними похідними, а також інтегральних рівнянь, що виникають при вирішенні завдань прикладної фізики. Метод широко використовується для вирішення завдань механіки деформованого твердого тіла, теплообміну, гідродинаміки і електродинаміки.

Суть методу впливає з його назви. Область, у якій шукається рішення диференціальних рівнянь, розбивається на скінченну кількість елементів. У кожному з елементів довільно вибирається вид апроксимуючої функції. У найпростішому випадку це поліном першого ступеня. Поза своїм елемента апроксимуюча функція дорівнює нулю. Значення функцій на кордонах елементів (вузлах) є розв'язком завдання і заздалегідь невідомо. Коефіцієнти апроксимуючих функцій зазвичай шукаються з умови рівності значення сусідніх функцій на кордонах між елементами (у вузлах).

Потім ці коефіцієнти виражаються через значення функцій у вузлах елементів.

Складається система лінійних алгебраїчних рівнянь. Кількість рівнянь дорівнює кількості невідомих значень у вузлах, на яких шукається рішення вихідної системи, прямо пропорційно кількості елементів і обмежується тільки можливостями ЕОМ. Так як кожен з елементів пов'язаний з обмеженою кількістю сусідніх, система лінійних алгебраїчних рівнянь має розріджений вигляд, що істотно спрощує її рішення.

З точки зору обчислювальної математики, ідея методу кінцевих елементів полягає в тому, що мінімізація функціоналу варіаційної задачі здійснюється на сукупності функцій, кожна з яких визначена на своїй підобласті, для чисельного аналізу системи дозволяє розглядати його як одну з конкретних гілок діакоптіки - загального методу дослідження систем шляхом їх розчленовування.

Переваги та недоліки

- Властивості матеріалів суміжних елементів можуть бути різними. Це дозволяє застосовувати метод до тіл, складених з декількох матеріалів.

- Скінченними елементами є прості області (прямі лінії, трикутники, прямокутники, піраміди, призми). Таким чином, даним методом можна апроксимувати тіла із складною формою країв.

- Розміри елементів можуть бути змінними. Це дозволяє збільшувати чи зменшувати елементи сітки.

- За допомогою МСЕ легко розглянути граничні умови з розривним поверхневим навантаженням, а також змішані граничні умови.

- Алгоритм методу скінченних елементів дозволяє створити загальні програми для розв'язку завдань різного класу.

- Завдання зводиться до розв'язку системи рівнянь алгебри великої розмірності. Проте хороша обумовленість системи розв'язних рівнянь алгебри дозволяє отримувати досить точні розв'язки для систем рівнянь розмірністю 5-10 мільйонів і більше.

Головний недолік цього методу полягає у потребах великого обсягу пам'яті ЕОМ і високої швидкості розрахунку. В наш час розвиток ЕОМ практично усунув цей недолік.

Особливу популярність як серед науковців, так і інженерів-виробничників високотехнологічних галузей має ANSYS. В цілому, перевагами використання ANSYS є збільшення точності,

покращення дизайну і краще бачення критичних параметрів, швидке створення віртуальних і зменшення кількості реальних прототипів, пришвидшення та здешевлення проектування, збільшення продуктивності та прибутковості.

Програмна система розробляється американською компанією ANSYS incorporated. Компанія також випустила інші системи СЕ моделювання, в тому числі DesignSpace, AI Solutions (NASTRAN, ICEM CFD); призначені для використання в більш специфічних галузях виробництва.

ANSYS - універсальна програмна система скінченно-елементного аналізу для рішення лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних просторових задач механіки деформованого твердого тіла та механіки конструкцій (включаючи нестаціонарні геометрично і фізично нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), задач механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів. Моделювання та аналіз в деяких областях промисловості дозволяє уникнути дорогих і тривалих циклів розробки типу "проектування - виготовлення - випробування". Система працює на основі геометричного ядра Parasolid.

Програма є інструментом для проведення математичного моделювання і обчислювального експерименту на основі принципово нових математичних моделей, містять ефективні чисельні методи реалізації таких моделей. Ці системи є відкритими для програмування на будь-якому рівні за допомогою вбудованих мов програмування і мов програмування високого рівня, таких, як Visual Fortran і C++. Користувач має нагоду вбудовувати будь-які процедури, елементи, вирішувати, модифікувати і доповнювати меню, підключати файли повідомлень і таким чином створювати власні програми.

Програмна система ANSYS сумісна з відомими CAD системами Unigraphics, CATIA, Pro/ENGINEER, SolidEdge, SolidWorks, Autodesk Inventor та деякими іншими.

Програмна система ANSYS є досить відомою CAE-системою, яка використовується на таких відомих підприємствах, як ABB, BMW, Boeing, Caterpillar, Daimler Chrysler, Exxon, FIAT, Ford, БелАЗ, General Electric, Lockheed Martin, MeyerWerft, Mitsubishi, Siemens, Shell, Volkswagen-Audi і ін, а також застосовується на багатьох провідних підприємствах промисловості України, приклад,

Державне підприємство «Виробниче об'єднання Південний машинобудівний завод імені О.М. Макарова» і т. д.

У програмі ANSYS доступні наступні види міцнісного аналізу:

- статичний аналіз - обчислення переміщень, напружень і т.д. в умовах статичного навантаження;

- модальний аналіз - визначення власних частот і форм коливань;

- гармонійний аналіз - визначення відгуку конструкції на гармонійні складові обурює навантаження;

- динамічний аналіз - визначення відгуку конструкції на дію довільної навантаження як функції часу;

- спектральний аналіз - розширення модального аналізу для обчислення напружень та деформацій при дії спектру частот або випадкової вібрації;

- аналіз стійкості - розрахунок критичних навантажень і визначення форм втрати стійкості.

Крім того, є можливість проводити спеціальні види розрахунків в області механіки руйнування, міцності композитних матеріалів і втомного руйнування.

Більшість ANSYS-елементів призначені для проведення розрахунків на міцність конструкцій - від простих балок і стержнів до багаточарових оболонок і суцільних тіл при великих деформаціях.

Отже, ця програмна система американської компанії ANSYS є сучасною, розвиненою і застосовуваною в українському просторі. В ній є можливість постановки нелінійної температурної задачі, та виведення необхідних результатів розрахунку для порівняння їх з експериментальними даними.

1. Пасічник Р.В. Порівняльний розрахунок ротонди на стійкість методом скінчених елементів та методом криволінійних сіток / Р. Пасічник // Містобудування та територіальне планування: Науково-техн. збірник – Київ, 2009. – Вип. 33. – С. 304 – 309.

2. Пасічник Р.В. Застосування методу криволінійних сіток для розрахунку ротонди на стійкість в залежності від жорсткості з'єднувальних елементів / Р. Пасічник // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне, 2009 – Вип. 19. – С. 283 – 290.