

области, обладают высокими вяжущими свойствами и огнеупорностью свыше 2000 °С.

1. Новые идеи в планировании эксперимента / Под ред. В.В. Налимова – М.: Наука, 1965.

2. Гребеншиков Р.Т., Шитова В.И. Твердые растворы ортосиликатов и ортогерманатов стронция и бария // Изв. АН СССР: Неорганические материалы. Т. VI. – 1970. – №4.

3. Мельник М.Т., Илюха Н.Г., Шаповалова Н.Н. Огнеупорные цементы. – К.: Вища школа, 1984.

Получено 15.01.2002

УДК 624.015.5

Л.І.СТОРОЖЕНКО, д-р техн. наук, С.В.ЯХІН

Полтавський державний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

РОЗРАХУНОК БАЛОК ІЗ СТАЛЕВИХ ДВОТАВРІВ З БІЧНИМИ ПОРОЖНИНАМИ, ЗАПОВНЕНИМИ БЕТОНОМ, ЗА МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Запропоновано методику моделювання напружено-деформованого стану та розрахунку на ПЕОМ сталезалізобетонних конструкцій із сталевих двотаврів з бічними порожнинами, заповненими бетоном, при дії згину за методом кінцевих елементів. Проведено порівняння отриманих даних з результатами експериментальних досліджень.

Найбільш розповсюдженим для вирішення інженерних задач є апарат теорії пружності. Першим етапом розрахунку будь-якого елемента є подання його у вигляді розрахункової схеми. При цьому виникають дуже суперечливі умови: по-перше, прагнення врахувати в розрахунковій схемі всі особливості реального елемента, що ускладнюють її і, по-друге, необхідність розробки досить простої схеми, що дозволяє застосовувати для розрахунку математичний апарат механіки деформованого тіла. Від того, наскільки успішно вдається задовольнити ці умови, багато в чому залежить якість розрахунку і відповідність результатів дійсній роботі.

У даний час широко застосовується метод кінцевих елементів (МКЕ) [1] як інструмент для розрахунку конструкцій, що базується на дискретизації задач механіки безупинного середовища. Проблема пошуку неперервних функцій координат зводиться до визначення кінцевої кількості невідомих параметрів і дискретних невідомих. Відомими функціями в МКЕ є комбінація кінцевого числа лінійно незалежних функцій, область визначення яких є локальною стосовно до деякої частини системи – конкретного кінцевого елемента. Одна з головних переваг цього методу – можливість опису роботи конструкції математичними залежностями, і створення для їх вирішення програм для

ПЕОМ. На сьогодні відомо багато розроблених програмних комплексів, з яких найбільш потужними є ЛПА, МРАЖ, OSCAR та багато інших.

У розрахунках із застосуванням МКЕ конструкцію розбивають на окремі кінцеві елементи, напружено-деформований стан яких відомий. З'єднання елементів здійснюють в окремих граничних вузлах, де дотримують умови рівноваги і нерозривності переміщень. Деформування кожного кінцевого елемента описується кінцевою кількістю узагальнених координат (за кількістю ступенів свободи), що залежить від виду напружено-деформованого стану і типу елемента.

Розрахункова схема прийнята плоскою завдяки симетрії поперечного перерізу досліджуваної конструкції. Бетонні й сталеві пластини розглядаються паралельно і з'єднуються у граничних вузлах.

Досліджуваний елемент (рис.1) умовно поділяється на два типи елементів: лінійний стрижневий і плоский чотирикутний (рис.2). Лінійний стрижневий елемент сприймає осьовий розтяг та стиск і, відповідно, має два ступені свободи – лінійні переміщення U_n , U_m . Плоский чотирикутний елемент, що має вісім ступенів свободи, – складові переміщень чотирьох вузлів i, j, k, l уздовж осей X і Y : $U_b, V_b, U_j, V_j, U_k, V_k, U_l, V_l$.

Формування загальної матриці лінійних стрижневих і плоских чотирикутних кінцевих елементів виконуємо за допомогою числового методу, що називається ансамблюванням. Цей процес дозволяє безліч систем лінійних рівнянь для окремих КЕ об'єднати в одну глобальну систему рівнянь для всієї кінцево-елементарної моделі тіла.

До глобальної матриці перед початком вирішення системи лінійних рівнянь дописуємо рядки й стовпці із значеннями направляючих косинусів і синусів опорних вузлів.

Слід зазначити, що системи лінійних рівнянь, які створюються при застосуванні методу кінцевих елементів, мають велику розмірність і без застосування ПЕОМ їх неможливо розв'язати. У даний час розроблені ефективні методи вирішення складних систем лінійних рівнянь.

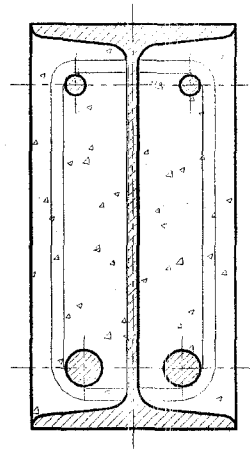


Рис. 1 – Схема поперечного перерізу зразків

У даному випадку із системою середнього порядку з відносно невеликою шириною рядка матриці жорсткості прийнятий фронтальний метод (варіант модифікованого методу Гаусса).

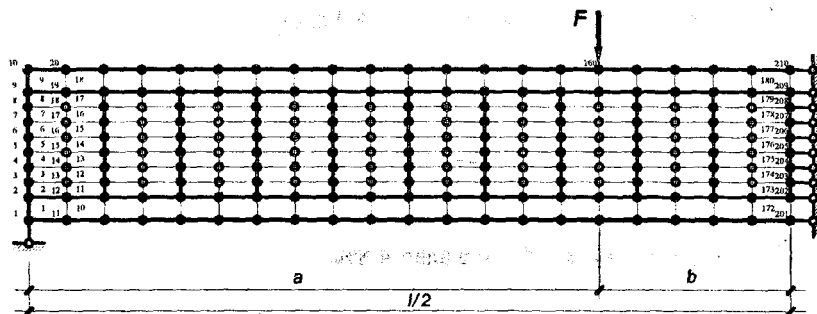


Рис.2 – Розрахункова схема за МКЕ

Точність роботи запропонованої математичної моделі розрахунку сталобетонних конструкцій залежить від точності вхідної інформації про фізико-механічні характеристики матеріалів. Для врахування непружних властивостей бетону, сталевого профілю і стрижневої арматури доцільно використовувати їхні реальні діаграми деформування " $\sigma - \epsilon$ ".

Для опису діаграми деформування бетону використовуємо залежність, яку пропонує ЕКБ-ФІП [2]. Ця залежність найбільш точно описує залежність " $\sigma - \epsilon$ " для бетону (аналіз одержуваних даних показує розбіжності з фактичними даними в межах 1-3%).

Задача вирішується за пружною схемою, фізична нелінійність сталі і бетону врахована за допомогою послідовних наближень з уточненням січних модулів деформацій кінцевих елементів відповідно до їх реальних діаграм деформування. Збільшення зовнішнього навантаження виконуємо поступово, при цьому на кожному етапі обчислюються деформації ϵ_x , ϵ_y і напруження σ_x , σ_y і σ_{xy} у кінцевих елементах, січні модулі пружності й прогини з перевіркою міцності матеріалів. Якщо для бетонних елементів деформації розтягнення перевищують граничні, надалі цей кінцевий елемент в розрахунку не враховується. При перевищенні несучої здатності будь-якого матеріалу виконуємо повернення на половину кроку зростання навантаження і розрахунок ведемо до досягнення необхідної точності визначення руйнівних навантажень.

На основі вищевикладеного розроблено алгоритм і складена програма розрахунку балок із сталевих двотаврів з порожнинами, заповненими бетоном, на ПЕОМ за допомогою мови програмування Delphi.

Результатами розрахунку (ε_{xi} , ε_{yi} , σ_{xi} , σ_{yi} , f_{max} , E_i) для всіх кінцевих елементів для кожного граничного стану й етапу завантаження виводяться в табличній та графічній формах.

За допомогою розробленої програми виконано розрахунки експериментальних зразків [3]. Утворення тріщин згідно з розрахунком відбувається у нижніх бетонних пластинах моделі, в зоні з максимальним згинальним моментом, що відповідає реальній картині тріщиноутворення в дослідних балках. Розбіжність між експериментальними й отриманими значеннями M_{cre} складає 4,8%. Це дозволяє зробити висновок, що за допомогою запропонованої моделі можна точно оцінити момент тріщиноутворення запропонованих згинальних елементів. Розрахунок відбувається до досягнення в будь-якому кінцевому елементі граничних деформацій стиску або максимального прогину з визначенням руйнівного навантаження до необхідної точності.

За результатами розрахунків руйнування відбулося через вичерпання міцності бетону на стиск у межах вузла прикладання навантаження, що відповідає фактичній картині руйнування експериментальних зразків. Розбіжність між експериментальними й отриманими за запропонованою методикою даними складає не більше 7%.

Отже, використовуючи запропоновану математичну модель, можна досить точно оцінити міцність та деформативність елементів.

1.Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975.

2.Кодекс-образец ЕКБ-ФИП для норм по железобетонным конструкциям. – М.: НИИЖБ, 1984. – 284 с.

3.Яхін С.В. Експериментальні дослідження згинальних елементів із сталевих двотаврів з порожнинами, заповненими бетоном, по нормальних перетинах // 36. наук. праць ПДТУ ім. Юрія Кондратюка: Галузеве машинобудування, будівництво. Вип. 5. – Полтава: ПДТУ, 2000.

Отримано 29.01.2002

УДК 624.01.046.5

Ж.Н.ВОЙТОВА

Донбасская государственная академия строительства и архитектуры, г.Макеевка

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Приведена программа технического переоснащения Авдеевского завода металлических конструкций (АЗМК) с улучшением качества противокоррозионной защиты,