

## **Тема 2. Методи розрахунків будівельних конструкцій. Розрахунок за доступними напруженнями. Розрахунок за руйнівним навантаженням коефіцієнт запасу міцності. Розрахунок за методом граничних станів. Метод кінцевих елементів.**

Метод розрахунку по допускаємим напруженням простий, зручний, але ефективний тільки при рівномірному розподілі зусиль в стержнях системи або напруг в небезпечних перетинах конструкції. При сильній нерівномірності їх розподілу він приводить до значної перевитрати матеріалу.

При розрахунку залізобетонних конструкцій по методу допускаємих напружень одержані результати значно відрізнялися від досвідчених значень. Це пояснюється тим, що деформації бетону є упругопластичними. В результаті напруження в арматурі, обчислені по методу допускаємих напружень виходили більше фактичних. Це також приводило до значної перевитрати матеріалу.

Метод розрахунку по допускаємим напруженням в нашій країні застосовувався для розрахунку залізобетонних конструкцій до 1938 р., а для розрахунку металевих і дерев'яних конструкцій до 1955 р. В даний час метод розрахунку по допускаємим напруженням використовується при розрахунку деталей машин і механізмів в машинобудуванні.

У зв'язку з тим, що метод розрахунку по допускаємим напруженням не відображав дійсної роботи залізобетонних конструкцій, виникла необхідність створення нової теорії розрахунку залізобетонних конструкцій, яка б відображала їх дійсний напружений стан.

Була запропонована теорія розрахунку по руйнуючих зусиллях, яка ґрунтувалася на обширних експериментальних дослідженнях. Ця методика розрахунку, введена в норми в 1938 р., дозволила достатньо точно обчислювати фактичну несучу здатність перетинів, тобто руйнуюче зусилля.

Метод розрахунку по руйнуючому навантаженню заснований на допущенні в окремих елементах конструкцій роботи матеріалу за межею пружності. По розрахунковій схемі руйнування конструкції визначали руйнуюче навантаження, а потім, вводячи відповідні коефіцієнти, знаходили її безпечне, або значення, що допускається. Необхідною умовою розрахунку було те, що експлуатаційне навантаження не повинне перевищувати знайдене навантаження, що допускалось.

Для визначення допустимого навантаження вводився коефіцієнт запасу міцності для всієї системи, величина якого встановлювалась з досвіду експлуатації аналогічних споруд. Коефіцієнт запасу міцності був диференційований залежно від виду конструкції, характеру руйнування і комбінації зовнішніх навантажень в межах від 1,5 до 2,4.

При експлуатаційному навантаженні в самих небезпечних зонах конструкції напруження можуть бути близькими або навіть рівними межі текучості матеріалу. Це не позначається на умовах експлуатації, але дозволяє або понизити витрату матеріалу на виготовлення конструкції, або при тих же витратах матеріалу підвищити експлуатаційні навантаження.

Основним недоліком теорії розрахунку по руйнуючому навантаженню було те, що загальним коефіцієнтом запасу міцності не можна з достатньою точністю врахувати вплив великої кількості чинників на несучу здатність конструкції, а саме: відмінність міцністних характеристик бетону і арматури, відхилення фактичних навантажень від прийнятих в розрахунку, вплив особливостей матеріалу і конструкції.

Метод розрахунку по руйнуючому навантаженню застосовувався в нашій країні до 1955 р., поки не був введений метод розрахунку по граничних станах.

Метод розрахунку по граничних станах введений в норми в 1955 р. і застосовується до теперішнього часу. Від попереднього методу він відрізняється тим, що схема руйнування замінена припущенням про деякий розрахунковий граничний стан конструкції. Для визначення розрахункового

навантаження замість одного коефіцієнта запасу міцності вводиться цілий ряд коефіцієнтів, що враховують особливості навантаження, умови експлуатації конструкції, властивості матеріалу, ступінь відповідальності будівлі і інші чинники.

Даний метод припускає забезпечити такі умови роботи конструкції, при яких би виключалася можливість настання розрахункового граничного стану, під яким розуміють втрату здатності чинити опір зовнішнім діям або відповідати заданим експлуатаційним вимогам. У зв'язку з цим розрізняють дві групи розрахункових граничних станів. До першої групи відносять втрату несучої здатності і (або) повна непридатність до експлуатації. До другої групи відносять утруднення нормальної експлуатації конструкції.

До граничних станів першої групи відносяться: загальна втрата стійкості форми; втрата стійкості положення; руйнування будь-якого характеру; перехід конструкції в змінну систему; якісна зміна конфігурації; стани, при яких виникає необхідність припинення експлуатації в результаті текучості матеріалу, зсувів в з'єднаннях, повзучості, неприпустимості залишкових або повних переміщень або надмірного розкриття тріщин.

До граничних станів другої групи відносяться стани, що утрудняють нормальну експлуатацію або знижують довговічність унаслідок появи неприпустимих переміщень (прогинів, осідань, кутів повороту, коливань, тріщин і т.п.).

Граничні стани першої групи перевіряються розрахунком на максимальні (розрахункові) навантаження і дії, можливі при порушенні нормальної експлуатації. А граничні стани другої групи перевіряються розрахунком на експлуатаційні (нормативні) навантаження і дії, що відповідають нормальній експлуатації конструкцій.

Розрахунок по першій групі є обов'язковим для всіх видів конструкцій. Розрахунок по другій групі граничних станів виконують тільки для тих конструкцій, надмірні деформації в яких, утворення або велике розкриття тріщин можуть привести до втрати ними експлуатаційних якостей ще до

того, як буде вичерпана їх несуча здатність (наприклад, балки перекриття і плити покриттів, ригелі рам, кроквяні ферми, підкранові балки і т.п.).

Всі методи розрахунку будівельних конструкцій служили і служать одній меті – забезпечення міцності, надійності в експлуатації і довговічності конструкцій, проте відрізняються підходом до рішення поставленої задачі.

### ***1.3 Поняття про метод кінцевих елементів***

Суть методу кінцевих елементів (МКЕ) полягає в тому, що задана безперервна (континуальна) система розбивається для розрахунку на окремі (дискретні) елементи кінцевих розмірів, які з'єднані в задану систему (рис. 1.1). Кінцеві елементи повинні бути такої форми, яка доступна для дослідження їх напружено-деформованого стану під навантаженням і силами взаємодії між сусідніми елементами і відповідними їм переміщеннями [2].

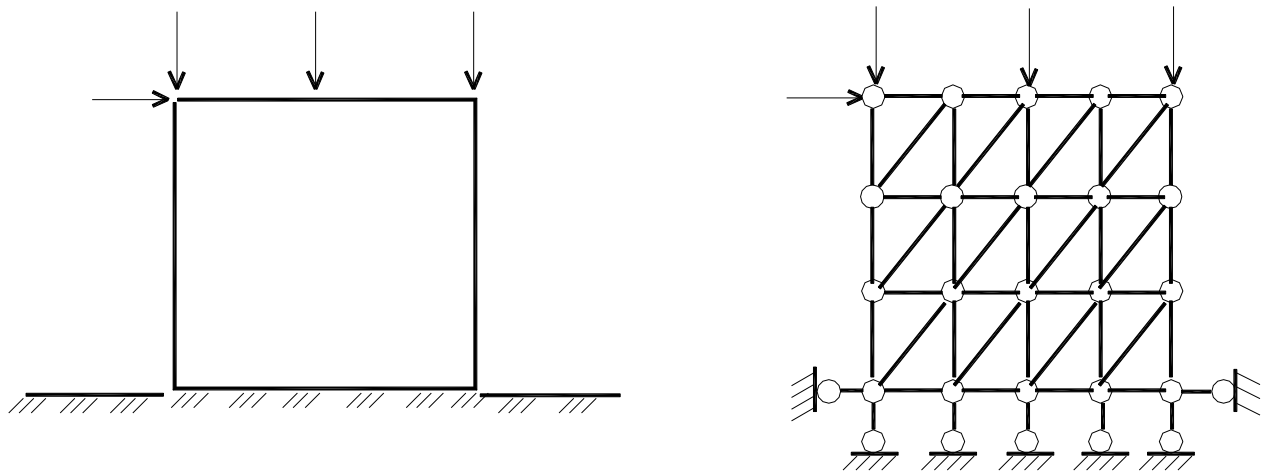


Рисунок 1.1 - Заміна безперервної системи (а) на систему з кінцевим числом ступенів свободи (б).

Елементи об'єднуються в задану систему на основі умов рівноваги і рівності деформацій і переміщень в місцях з'єднання цих елементів (вузлах).

Умови з'єднання елементів у вузлах здійснюється на основі додаткових допущень на стадії вивчення кінцевих елементів.

Таким чином, в методі кінцевих елементів безперервна (континуальна) система умовно замінюється дискретною системою з кінцевим числом визначуваних переміщень (з кінцевим числом ступенів свободи). В цій системі увага зосереджена на аналізі сил і переміщень вузлових точок системи (вузлів). Це дозволяє вести розрахунок не тільки стержньових систем, але і пластин, оболонок, об'ємних (масивних) тіл. Отже, розрахунок таких систем зводиться до рішення алгебраїчних рівнянь замість диференціальних.

Кінцевими елементами можуть бути стержні або їх ділянки в стержньових системах, елементи пластин у вигляді трикутних або прямокутних полів для пластин і оболонок, у вигляді тетраедрів і паралелепіпедів для масивних тіл (рис. 1.2).

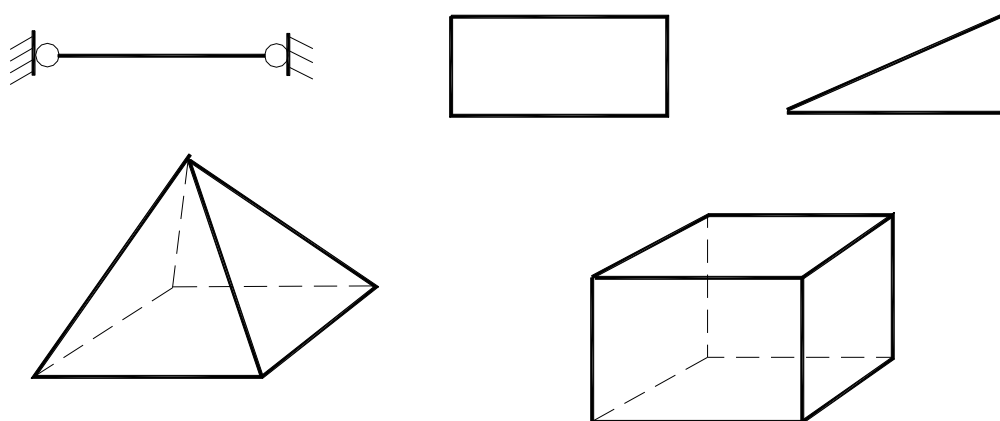


Рисунок 1.2 - Типи кінцевих елементів.

Розрахунок може бути проведений по методу сил, коли за невідомі приймаються сили взаємодії між кінцевими елементами в місцях їх з'єднання, або по методу переміщень, коли за невідомі приймаються переміщення вузлів елементів, що з'єднуються. Може бути застосований і змішаний метод.

У розрахунках по методу кінцевих елементів істотну роль виконують матриці податливості і матриці жорсткості. Якщо розрахунок проводиться по

методу сил, то застосовується матриця податливості, а якщо по методу переміщень, то матриця жорсткості.

Точність розрахунку методом кінцевих елементів за інших рівних умов буде тим вище, чим більшу кількість ступенів свободи (вузлів) матиме вирішувана система, і чим повніше в системі будуть відображені умови з'єднання елементів між собою.

Методом кінцевих елементів за наявності ПК може бути розрахована будь-яка система, якщо кінцеві елементи, що виділяються з неї, доступні для попереднього вивчення і якщо їх число, достатнє для отримання практично прийнятних результатів, не перевищить при обробці можливості обчислювальної техніки.