УДК 624.04

РОЗРАХУНОК ПЛОСКИХ СТРИЖНЕВИХ СИСТЕМ ЗА ГРАНИЧНИМ СТАНОМ

Лавриненко В.В.
Науковий керівник – к.т.н., проф. ***Сорока М.М.***

Анотація. Розглядається розрахунок плоских стрижневих систем за граничним станом. Сформульовані прийняті гіпотези і описано алгоритм знаходження граничного навантаження прямим методом.

Ключові слова: плоска стрижнева система, граничний стан, алгоритм розрахунку.

Засновник будівельної механіки Галілей у 1638 р. сформулював принцип граничної рівноваги, згідно з яким основною метою будівельної механіки є визначення навантажень які руйнують конструкцію. У той час цей принцип мало сприяв створенню практичних методів розрахунку і на початку XIX ст. Нав'є висунув більш плідну ідею розрахунку за робочим станом. Із даного часу основна ідея розрахунку конструкцій формулюється як задача визначення напружено-деформованого стону конструкцій, викликаного дією експлуатаційних навантажень. Запропонований Нав'є принцип малості переміщень сумісно із законом Гука дозволили використовувати для розв'язку задач будівельної механіки методи лінійної теорії. На основі цих двох принципів було створено велику кількість добре обґрунтованих теоретичних методів розрахунку.

Подальший розвиток лінійної будівельної механіки, а також намагання досягнути найбільшої економності конструкцій привело на початку XX ст. до відродження методу граничної рівноваги на новому більш якісному рівні. Новий метод граничної рівноваги увібрав у себе необхідні для його розвитку досягнення будівельної механіки, теорії пружності, теорії пластичності і інших розділів механіки твердого тіла.

Варіант методу граничної рівноваги для плоских стрижневих систем, що розглядається у даній роботі, базується на наступних припущеннях:

- розглядається плоска рама, що знаходиться в умовах простого статичного навантаження;
- поперечний переріз рами переходить в пластичний стан тільки під впливом згинальних моментів, вплив поздовжніх та поперечних сил не враховується;

- перерізи, в яких згинальний момент менше граничного, працюють в умовах закону Гука;
- пластичний шарнір утворюється в перерізі, де діє граничний момент;
- взаємний поворот перерізів, прилеглих до пластичного шарніру, необмежено зростає без зростання згинального моменту;
- при дії граничного навантаження рама, або її частини не втрачають стійкості.

Для визначення параметру граничного навантаження, побудови граничної епюри моментів і схеми пластичного руйнування рами можуть бути використані декілька методів. Це прямий метод за термінологією Даркова А.В. [1] і методи основані на використанні статичної і кінематичної теорем [1, 2, 3].

Два останні методи зводять проблему знаходження граничного навантаження до розв'язку задачі лінійного програмування, що спрощує розрахунки при наявності ЕОМ, але не дозволяє дослідити всі стадії роботи рами.

Більш детально розглянемо прямий метод розрахунку плоских стрижневих систем, який оснований на поетапному розрахунку системи при зростанні параметру навантаження з встановленням на кожному етапі простого шарніру в перерізі, де утворився пластичний шарнір.

Алгоритм розрахунку несучої здатності прямим методом коротко можна описати так:

1. Виконується статичний розрахунок системи з параметром навантаження ΔF.

2. Для кожного з розрахункових перерізів системи записується умова пластичності

$$\left|M_j\right| \le M_{0j} \quad (j = 1, 2, \cdots, s), \tag{1}$$

де M_{0j} - величина граничного моменту в перерізі "j"; M_j - момент, що виникає в перерізі "j" від дії навантаження з параметром ΔF; s – кількість розрахункових перерізів.

Встановлюється величина навантаження, ΔF^I що відповідає появі першого пластичного шарніру

$$\Delta F^I = min\left(\frac{M_{0j}}{\left|M_j\right|}\right) \quad (j = 1, 2, \cdots, s). \tag{2}$$

Перший пластичний шарнір утворюється в перерізі, де виконується умова (2).

3. Будується епюра моментів $M_{гр}^{l}$, що відповідає навантаженню ΔF^{l}.

$$M_{гр,j}^{l} = \Delta F^{l} M_{j}. \tag{3}$$

4. В перерізі, де утворився пластичний шарнір, встановлюється простий шарнір. Тим самим усувається можливість зміни згинального моменту в даному перерізі при подальшому зростанні параметру навантаження.

5. Якщо система, чи її частина стала геометрично змінною, перейти до п. 10.

6. Виконується статичний розрахунок системи із встановленим шарніром при дії параметру навантаження ΔF.

7. Встановлюється переріз, де утворюється наступний пластичний шарнір і приріст параметру навантаження ΔF^{i}, що призводить до його появи. Для цього використовується залежність

$$\left|M_{гр,j}^{i-1} + \Delta F^{i} M_{j}\right| \leq M_{0,j}, \text{ або } \begin{cases} +(M_{гр,j}^{i-1} + \Delta F^{i} M_{j}) \leq M_{0,j} \\ -(M_{гр,j}^{i-1} + \Delta F^{i} M_{j}) \leq M_{0,j} \end{cases} \tag{4}$$

З використанням (4) визначається найменше додатне значення ΔF^{i} і переріз, де утворюється пластичний шарнір.

8. Будується епюра моментів $M_{гр}^{i}$, що відповідає параметру навантаження $F = \sum_{k=1}^{i} \Delta F^{k}$

$$M_{гр,j}^{i} = M_{гр,j}^{i-1} + \Delta F^{i} M_{j}. \tag{5}$$

9. Розрахунок повторюється, починаючи з п. 4.

10. Параметр навантаження і епюра моментів, одержані в п. 8, є граничними для даної стрижневої системи.

Слід зазначити, що даний алгоритм розрахунку є точним у межах прийнятих гіпотез і не потребує використання чисельних методів. Його не важко покласти на будь яку сучасну алгоритмічну мову програмування і за допомогою персонального комп'ютера ми одержимо інструмент для аналізу граничного стану плоскої стрижневої системи. На сьогоднішній день виконується розробка програми розрахунку за описаним алгоритмом на алгоритмічній мові С++.

Література

1. Дарков А.В. Шапошников Н.Н. Строительная механика. - М.:"Высшая школа", 1986.,607с.

2.Чирас А.А. Строительная механика. Теория и алгоритмы – М.: "Стройиздат", 1989, 256с.

3. Строительная механика. Программы и решения задач на ЭВМ. Под общей редакцией А.А. Чираса – М.: "Стройиздат", 1990, 360с.