

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ НАЗЕМНИХ КОНСТРУКЦІЙ
З УРАХУВАННЯМ ПЛАСТИЧНОСТІ МАТЕРІАЛУ**

А. С. Моргун, О. В. Франчук

Проаналізовано несучу здатність наземної конструкції з урахуванням пластичної роботи матеріалу. Розраховано будівельну конструкцію нелінійним методом (пластичний розрахунок). Отримано більш економічне проектне рішення завдяки більш адекватному відображенню особливостей механічних властивостей матеріалу.

Проанализирована несущая способность наземной конструкции с учетом пластичной работы материала. Рассчитана строительная конструкция нелинейным методом (пластичный расчет). Получено более экономическое проектное решение благодаря более адекватному отображению особенностей механических свойств материала.

Bearing strength of surface construction is analysed taking into account plastic work of material. A build construction is expected by a nonlinear method (plastic calculation). More economic project decision is got due to more adequate reflection of features of mechanical properties of material..

Вступ

Розрахунок статично невизначених систем на несучу здатність у ряді випадків, передбачених в ДБН, може бути проведений з урахуванням пластичності матеріалів. Це дає можливість зменшити вартість конструкцій за рахунок використання прихованих запасів їх міцності, які залишилися неврахованими при розрахунку їх як пружних систем, вилучити лишні запаси міцності, що утворюються при розрахунках їх за традиційними методиками. Метою роботи є підкреслення необхідності врахування роботи будівельних матеріалів в нелінійній стадії, яка на сьогоднішній день очевидна. В зв'язку із збільшенням висотності сучасних монолітних залізобетонних будівель та їх парусності стрімко зростають навантаження, на які проводять їх розрахунок.

Постановка задачі, визначальні співвідношення

Розрахунок систем з урахуванням пластичності матеріалу скорочено називають «пластичним». Замість дійсної діаграми розтяг - стиск пружно-пластичного матеріалу (рис. 1, а) в основу пластичного розрахунку кладеться спрощена діаграма для пружно-пластичного тіла (рис. 1, б) [2, 3]. Пластична стадія роботи настає тоді, коли діючі напруження сягають значень σ_T , чи $\sigma_{T'}$.

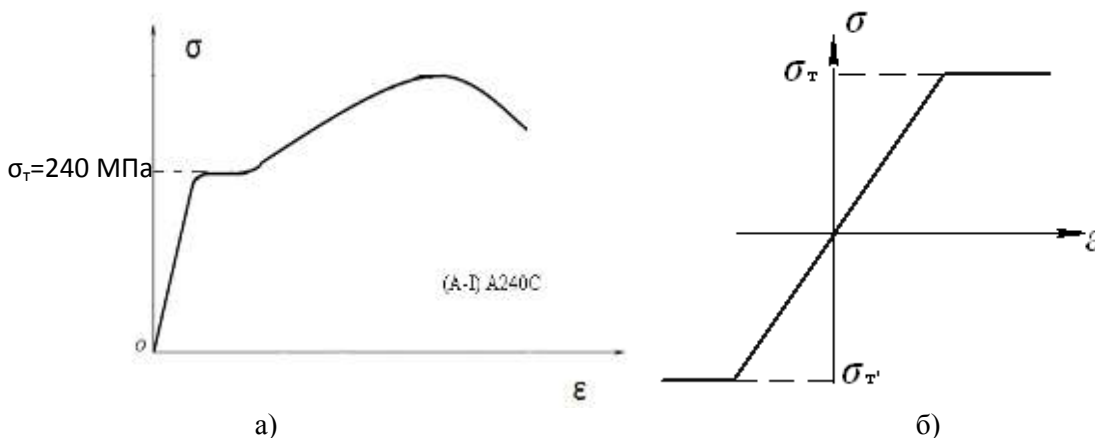


Рис. 1. Діаграми розтягу сталі класу А240С (А-І)

а – реальна діаграма, б – пружно-пластична діаграма

Граничний згинальний момент при сумісній його дії з поздовжньою N і поперечною Q силами виражається формулою:

$$M_{гр} = \sigma_T W_T \nu = M_{гр}^0 \nu, \quad (1)$$

де: σ_T – границя текучості матеріалу при розтягу;
 W_T – пластичний момент опору поперечного перерізу;
 $M_{гр}^0$ – граничний згинальний момент при чистому згині;
 ν – коефіцієнт, що враховує вплив поздовжньої і поперечної сил на несучу здатність стержня при згині і залежний від форми поперечного перерізу стержня і від співвідношення між границями текучості матеріалу при стиску і розтягу.

При досягненні згинальним моментом граничного значення, що виражається формулою (1), в стержні виникає пластичний шарнір [1]. Граничний момент $M_{гр}$ в пластичному шарнірі характеризує несучу здатність стержня при згині.

При виникненні пластичного шарніра в будь-якому елементі статично визначеної системи її несуча здатність виявляється вичерпаною і настає руйнування або конструкції стає непридатною для подальшої експлуатації. Таким чином, зони великих місцевих деформацій в будівельних конструкціях викликають появу пластичних шарнірів, в плитах – це лінії злому.

Для розв'язання задачі пластичного розрахунку для кожного можливого механізму руйнування складались рівняння робіт всіх зовнішніх і внутрішніх сил на можливих переміщеннях.

$$\sum P_{i,гр} \delta_i - \sum M_{к,гр} \theta_k = 0, \quad (2)$$

де: θ_k – кути повертання стержнів в пластичних шарнірах;
 δ_i – лінійні переміщення точок прикладення відповідних навантажень;
 i і k – порядкові номери навантажень і граничних моментів, відповідно.

Основна трудність нелінійного розрахунку рам полягає в тому, що число можливих форм руйнування може бути дуже велике і заздалегідь не вдається встановити, яка з них є дійсною.

Для знаходження дійсної форми руйнування застосовано метод *комбінованих механізмів*, оснований на тому, що для заданої рами при заданому навантаженні всі можливі механізми руйнування можуть бути отримані шляхом складання різних комбінацій з малого числа простих незалежних механізмів руйнування. Серед можливих механізмів руйнування істинним буде той, якому при заданих величинах граничних згинальних моментів відповідає мінімальне граничне навантаження.

Результати досліджень

В роботі для порталної рами (рис. 2, а) визначено граничні і допустимі навантаження при $Q = 1,5P$. Межа текучості сталі $\sigma_T = 250$ МПа і розрахунковий опір при згині $R_{зг} = 210$ МПа, а пластичні моменти опору ригеля і стояків рівні відповідно $W_{р,т} = 500$ см³; $W_{с,т} = 250$ см³.

Граничний згинальний момент для стояків згідно з (1):

$$M_{с,гр} = \sigma_T W_{с,т} = 250 * 10^6 * 250 * 10^{-6} \text{ Нм} = 62,5 \text{ кНм}.$$

Граничний згинальний момент для ригеля згідно з (1):

$$M_{р,гр} = \sigma_T W_{р,т} = 500 * 10^6 * 500 * 10^{-6} \text{ Нм} = 125 \text{ кНм}.$$

Можливими формами руйнування рами є балковий механізм (Б), (рис. 2, б), і механізм бічного зміщення (З), (рис. 2, в), а також комбінований механізм (Б + З), (рис. 2, г). Для кожного з цих механізмів на основі принципу можливих переміщень складено рівняння граничної рівноваги у вигляді рівняння робіт зовнішніх і внутрішніх сил.

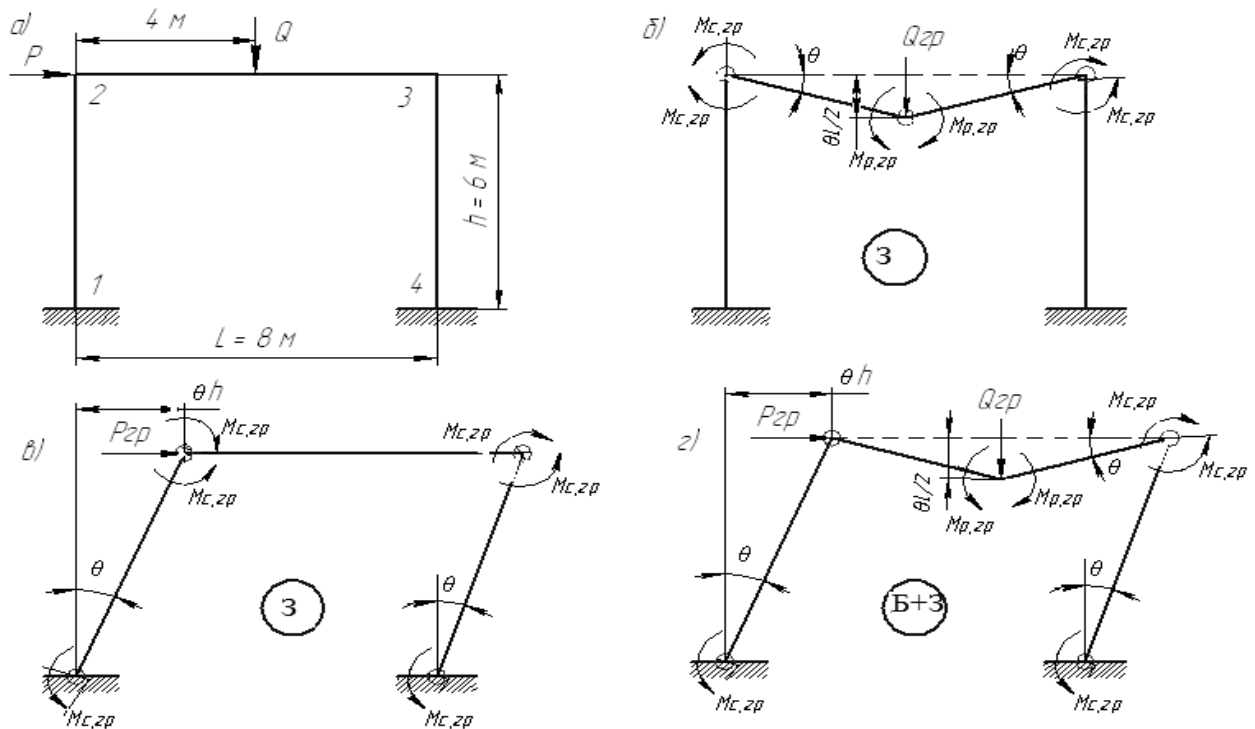


Рис. 2. Схема порталної рами та можливі механізми її руйнування

Для балового механізму (Б):

$$Q_{гр}(L/2) \theta = 2 M_{р,гр} \theta + M_{с,гр} \theta = 0$$

$$Q_{гр} = 4 (M_{р,гр} + M_{с,гр}) L/2 = 12 M_{с,гр}/L$$

$$P_{гр} = Q_{гр}/1,5 = 8 M_{с,гр}/L$$

Для механізму бічного зсуву (З):

$$P_{гр} h \theta = 4 M_{с,гр} \theta,$$

$$P_{гр} = 4 M_{с,гр}/h = 8 M_{с,гр}/L$$

Для комбінованого механізму (Б+З):

$$Q_{гр}(L/2) \theta + P_{гр} h \theta = 4 M_{с,гр} \theta + 2 M_{р,гр} \theta.$$

Звідси, маючи на увазі, що $h = L/2$ і $M_{р,гр} = 2M_{с,гр}$, отримаємо $Q_{гр} + P_{гр} = 16 M_{с,гр}/L$.

З урахуванням того, що $Q_{гр} = 1,5 P_{гр}$ маємо:

$$P_{гр} = 6,4 M_{с,гр}/L = 6,4 \cdot 62,5 \cdot 10^3 / 8 \text{ Н} = 50 \text{ кН};$$

$$Q_{гр} = 1,5 P_{гр} = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ кН}.$$

Оскільки мінімальні значення $Q_{гр}$ і $P_{гр}$, що є розрахунковими, відповідають комбінованій формі руйнування, то небезпечною буде саме ця форма.

Для отримання допустимих значень навантажень на порталну раму замість межі текучості сталі взято розрахунковий опір і введено коефіцієнт перевантаження n , який в даній роботі прийнятий 1,2.

$$Q=Q_{гр}R_{зг}/(\sigma_{тn}) = 75 \cdot 10^3 \cdot 210 \cdot 10^6 / (250 \cdot 10^6 \cdot 1,2) H = 52,5 \text{ кН};$$

$$P = Q/1,5 = 52,5/1,5 \text{ кН} = 35 \text{ кН}.$$

Тому, для даної рами при такій схемі навантаження допустимими навантаженнями є $P = 35 \text{ кН}$ і $Q = 52,5 \text{ кН}$.

Висновки

- Знайдено дійсну найбільш небезпечну форму руйнування порталної рами, зображеної на рис. 2, якою буде комбінований механізм руйнування (балковий зі зміщенням).
- Для отримання форми механізму руйнування в пластичному розрахунку залучено кінематичний метод із складанням рівнянь робіт всіх внутрішніх і зовнішніх сил на можливих переміщеннях.
- Викладений в роботі нелінійний метод розрахунку порталної рами як каркаса будівлі завдяки більш адекватному вибору механізму руйнування дає можливість отримати граничні навантаження $P=35 \text{ кН}$, $Q=52,5 \text{ кН}$.

Використана література

1. Дарков А. В. Строительная механика / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. – Москва : «Вища школа», 1986. – 193 с.
2. Опір матеріалів з основами теорії пружності і пластичності / [В.Г. Піскунов, І.М. Бузун, М.М. Рубан, В.К. Присяжнюк] – Москва : «Вища школа», 1981. – 105 с.
3. Верюжский Ю.В. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций. Курсовое проектирование / [Ю. В. Верюжский, В. И. Колкунов, М. С. Барабаш, Ю. В. Чензерский] – Київ : Книжне видавництво національного авіаційного університету, 2006. – 768 с.

Моргун Алла Серафимівна – д.т.н., професор, завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Франчук Ольга Василівна – студентка Вінницького національного технічного університету.