УДК 624.074:576.374

НЕСНА ЗДАТНІСТЬ ПРОСТОРОВИХ ПЛАСТИНЧАТИХ КОНСТРУКЦІЙ

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПРОСТРАНСТВЕННІХ ПЛАСТИНЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ

LOAD CARRYING CAPACITY OF SPATIAL PLATE STRUCTURES

Дехтяр А.С., д.т.н., проф., Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури

Дехтярь А.С., д.т.н., проф., Национальная академія изобразительных искусств и архитектуры

Dekhtyar A. Sci.D, Prof., National academy of fine arts and architecture

Розглянуто задачу про несність пластинчатих просторових конструкцій при дії рівномірного поперечного навантаження. Для отримання верхніх оцінок застосовано кінематичний метод граничного навантаження у формі теорії ліній текучості. Вивчено три можливі форми вичерпання несності. Всі оцінки отримано в замкнутій формі. Зроблено необхідні порівняння.

Рассмотрена задача о несущей способности пластинчатих пространственных конструкций при действии равномерной поперечной нагрузки. Для получения верхних оценок применен кинематический метод теории предельного равновесия в форме теории линий текучести. Изучены три возможные формы исчерпания несущей способности. Все оценки получены в замкнутой форме. Проведены необходимые сравнения.

A load carrying capacity problem of plate spatial structures is considered. The transversal loading is uniformly distributed. The kinematical method of limit equilibrium theory is applied in the form of the yield lines theory. Three possible smash forms are studied. All estimations are got in the closed form. Necessary comparisons are done.

Ключові слова:
Пластинчаті системи, несна здатність, гранична рівновага.
Пластинчатые системы, несушая способность, предельное равновесие.
Plate structures. load carrying capacity, limit equilibrium.

Поява потужних бетононасосів і значний розвиток опалубкових робіт протягом останніх десятиліть обумовили в цивільному будівництві перехід до монолітних конструкцій і призвели до майже повного витиснення збірного залізобетону, зокрема фактично зникло спорудження багатоповерхових будинків з об'ємних блоків. Проте й досі є галузі будівництва, де застосування готових об'ємних блоків є економічно і технічно доцільним. Це – одно- і двоповерхові торговельні приміщення, трансформаторні підстанції і насосні станції на магістральних трубопроводах, гаражі, складські приміщення, перепускні і контрольні пункти, а також тимчасові споруди на будівельних майданчиках.

Об'ємні блоки – достатньо вивчені конструкції, якщо йдеться про напруження і деформації, які виникають при виготовленні, транспортуванні, монтажі і в стадії експлуатації. Проте на початкових етапах проектування докладні розрахунки не потрібні, достатньо лише оцінити несність конструкції в цілому, застосовуючи наближені і спрощені підходи. Дотепер несність просторових блоків не вивчалася.

Нижче розглянуто модельну задачу про несну здатність пластинчатої конструкції (рис.1) при дії рівномірного поперечного навантаження, прикладеного до верхньої або до нижньої плити. Матеріал конструкції - ідеальний жорстокопластичний з

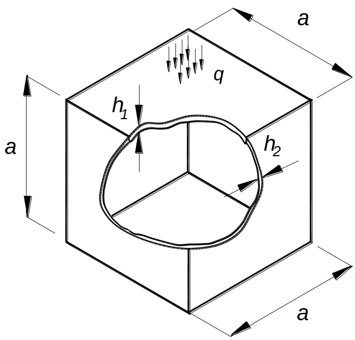

Рис.1

неоднаковими границями текучості σ^- при стиску і σ при розтягу, причому $\sigma^- \succ\succ \sigma$. Така модель матеріалу досить точно відповідає механічній поведінці конструкційного залізобетону.

Введемо такі позначення a довжина ребра кубічного замкнутого блоку, h_1 – однакова товщина верхньої і нижньої плити, h_2 – товщина стінки, q – інтенсивність рівномірного навантаження. Прийнято також, що блок обпирається по контуру нижньої плити.

Для оцінки несності нижче застосовано кінематичний метод теорії граничної рівноваги з залученням поняття про зосереджені пластичні деформації (лінії текучості) [1,2]. Кінематичний метод дозволяє отримувати верхню оцінку граничного навантаження.

При навантаженні верхньої плити можливі декілька форм вичерпання несності конструкції. Перша з них – руйнування самої лише верхньої плити як пластини, затисненої по всьому контуру. Відповідна верхня оцінка несності добре відома [1]. і становить

$$q = 12 m_0 a^{-2}. \tag{1}$$

Тут m_0 – граничний погонний згинальний момент Для прийнятого «нестисливого» матеріалу $m_0 = 0{,}5\sigma h_1^2$.

Далі замість товщин h_1, h_2 використовуватимемо їхні безрозмірні величини $\varepsilon_1 = h_1 a^{-1}; \varepsilon_2 = h_2 a^{-1}$. Зауважимо, що вираз (1) отримано [1] з рівняння рівноваги у формі принципу можливих переміщень Лагранжа. Додамо, що для першої схеми вичерпання несності робота D_{i1} граничних згинальних моментів на можливих переміщеннях механізму руйнування становить

$$D_{i1} = 16 m_0 \cdot \tag{2}$$

Позаяк в подальшіх формах вичерпання несності робота D_e зовнішнього навантаження не відрізняється від такої для першої форми, далі в порівняннях різних форм руйнування обмежимося обчисленнями лише роботи D_i внутрішніх сил.

Другу можливу форму руйнування показано на рис.2. Тут утворюються двогранні елементи з частини плити і бічної стінки, при цьому верхня плита не має від'ємних лінійних шарнірів по периметру.

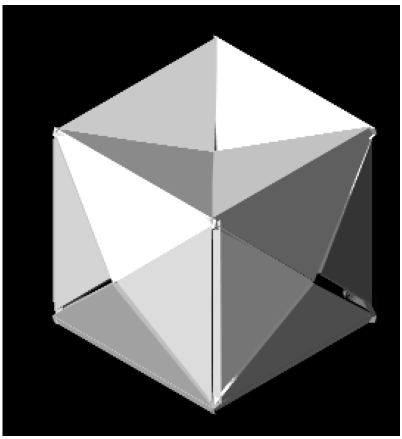

Рис.2

Формі руйнування , показаній на рис. 2, відповідає робота D_{i2} погонних згинальних моментів

$$D_{i2} = 8m_{01} + 42m_{02} \quad . \tag{3}$$

Можлива ще одна форма вичерпання несності розглядуваної пластинчатої системи, її показано на рис.3. Від двох попередніх схем вона відрізняється тим, що окрім лінійних пластичних шарнірів має ще ділянки з розтягувальними мембранними силами..

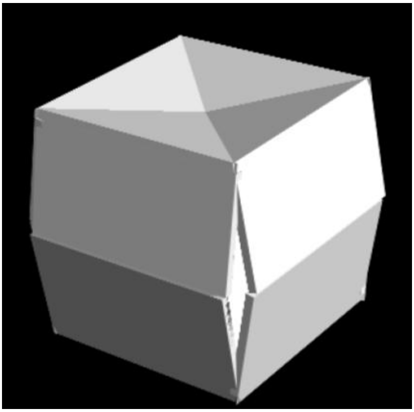

Рис.3

Згинальні компоненти роботи D_{i3} можуть бути представлені виразом

$$D_{i31} = 16m_{01} + 48m_{02}. \quad . \tag{4}$$

До них має бути додано роботу розтягувальних сил

$$D_{i32} = \sqrt{2}\sigma a^2 \varepsilon_2. \tag{5}$$

Для впорядкування отриманих співвідношень (4) і (5) і надання їм порівняного вигляду перейдемо до відносних товщин $\varepsilon_1, \varepsilon_2$, тоді замість (4) отримаємо

$$D_{i31} = \sigma a^2 (8\varepsilon_1^2 + 24\varepsilon_2^2). \tag{6}$$

Повну величину D_{i3} роботи внутрішніх сил отримаємо додаванням правих частин виразів (5) і (6)

$$D_{i3} = \sigma a^2 (8\varepsilon_1^2 + 24\varepsilon_2^2 + \sqrt{2}\varepsilon_2). \tag{7}$$

Відповідно до кінематичної теореми теорії граничної рівноваги з усіх можливих форм вичерпання несності істинною є та з них, якій відповідає найменша величина граничного навантаження.

Спочатку зіставимо оцінки (2) і (3).Прирівнявши праві частини цих виразів, отримаємо

$$16m_{01} = 8m_{01} + 42m_{02}, \quad (8)$$

звідки знаходимо умову переходу від першої форми до другої

$$m_{01} = 5{,}25m_{02},$$

або (9)

$$h_1 = 2{,}3h_2.$$

Отже, наприклад, при $h_1 = 2h_2$ руйнується лише верхня плита, тим часом при $h_1 = 3h_2$ маємо руйнування за другою формою (рис.2).

Співвідношення (9) можна вважати правдоподібним. Дійсно, в об'ємних блоках, з яких й дотепер споруджуються багатоповерхові будинки, при товщині плити 120 – 130 мм товщина стінки становить 55 – 60 мм, що якраз відповідає співвідношенню (9).

Оцінка третьої форми (7) руйнування ускладнена тим, що вираз (7) містить відносні товщини елементів конструкції не тільки в першому степені, а й в квадраті. Оскільки величини $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ мають порядок 0,01 – 0,04, можна помітити, що оцінка (7) завдяки роботі мембранних сил буде набагато більшою від двох інших оцінок. Дійсно, нехай $\varepsilon_1 = 0{,}03; \varepsilon_2 - 0{,}01,$, тоді з (3) і (7) отримуємо відповідно

$$D_{i2} = 0{,}0057; D_{i3} = 0{,}019.$$

З порівняння випливає, що третя форма руйнування не створює конкуренції до двох попередніх.

Якщо розподілене навантаження прикладене до нижньої плити, перші дві форми вичерпання несності зберігають чинність, проте третя форма принципово неможлива, позаяк розтягувальні мембранні зусилля мали би бути замінено стискальними, що протирічить прийнятій моделі матеріалу.

Подані тут моделі і відповідні їм верхні оцінки граничного навантаження мають методичний характер. Така методика може бути поширена на інші складніші задачі про несність пластинчатих систем з іншим співвідношенням розмірів, з отворами, віконними і дверними прорізами та ін.

Оцінки, отримані тут, мають замкнуту форму, вони не потребують складних обчислень, залучення комп'ютерних програм і призначені для початкових етапів проектування. Використану тут конкуренцію можливих форм руйнування покладено в основу сучасних норм проектування.

1. Ржаницын А.Р. Предельное равновесие пластинок и оболочек.- М.: Наука, ГРФМЛ, 1983. -288 с. **2**. Микеладзе М.Ш. Введение в техническую теорию идеально-пластичных тонких оболочек // Мецниереба. -1969.- Тбилиси. -182 с.