

**Волчок Денис Леонідович,**

*кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри будівельної і теоретичної механіки та опору матеріалів Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*

**Данішевський Владислав Валентинович,**

*доктор технічних наук, професор кафедри будівельної і теоретичної механіки та опору матеріалів Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*  
м. Дніпро, Україна

## **ГРАФОАНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ ЗА УМОВИ ЗАВДАННЯ МЕТИ ТА ОБМЕЖЕНЬ НЕЧІТКО**

Передумовами сучасного всебічного поширення і застосування нейтронних мереж стали досягнення в галузях математики, однією з яких є оптимізаційне моделювання. Відхід від принципу двозначності (закон виключення третього), що зумовлював безкомпромісну дискретність відображення, і перехід до поняття «неповна» інформація повернув науковців до логіки Аристотеля про існування проміжного «привхідного». Математичною формалізацією такої логіки став розвиток теорій ймовірностей, нечітких [5] та неточних множин, що ознаменувало відхід від бінарного сприйняття навколишнього середовища і зближення гуманітарного та технічного напрямків. Можна помітити, що за використання, звернення до мереж ШІ використовуються завдання-підказки, так звані «prompts», які формулюються як лінгвістичні змінні. Вони приблизно описують, що користувач хоче отримати, повинні бути формалізовані, тому застосування нових підходів стає тенденцією і в більш консервативних сферах, таких як будівництво. З поширенням таких підходів на задачі проектування і оптимізації в будівництві можна ознайомитися в працях [2, 3]. У них розв'язки отримано за допомогою чисельних методів. Цікавим є побудова графоаналітичного методу розв'язання нових задач у сфері механіки, що можуть бути застосовані в навчальному процесі, бо, крім формулювання бажаного результату в термінах «приблизно», багато механічних характеристик подано в підручниках [1] як інтервали, тобто невизначено. Покажемо це на прикладі і об'єктом проектування візьмемо схему статично визначеної балки, що навантажена розподіленим навантаженням (рис. 1.). Для такої балки відомо, що частину початкових даних задано детермінованим чином, а частину як трикутні нечіткі числа. Так для навантаження та бажаного обсягу матеріалу балки задаються відповідні трикутні нечіткі функції належності (рис. 2, 3).

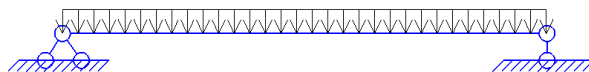


Рис. 1. Розрахункова схема балки із розподіленим навантаженням

Треба знайти, якими можуть бути розмір поперечного перерізу, розподілене навантаження на балку та обсяг матеріалу, за умови, що бажаний обсяг матеріалу і навантаження дано в термінах «приблизно». Відомо, що для такої стандартної балки умова міцності запишеться, як:

$$\sigma = \frac{ql^2 h}{8 \cdot 2I_z} \leq [\sigma] \quad (1)$$

Відповідна умова жорсткості:

$$f = \frac{5ql^4}{384EI_z} \leq [f] \quad (2)$$

Для визначеності прийmemo як поперечний переріз – прямокутний переріз. Тоді умови міцності та жорсткості можна записати як:

$$\sigma = \frac{3ql^2}{4bh^2} \leq [\sigma] \quad (3)$$

$$f = \frac{5ql^4}{32bEh^3} \leq [f] \quad (4)$$

Для проведення проєктувального розрахунку приведемо формули (3) та (4) до виду, коли в явному вигляді є висота поперечного перерізу:

$$h = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{3q}{b[\sigma]}}, \quad h = \frac{l}{2} \sqrt[3]{\frac{5ql}{4bE[f]}} \quad (5)$$

Функції належності [4], зображені на (рис. 2), (рис. 3), формалізують висловлювання: розподілене навантаження « $q \approx 40$  кг/см», бажаний обсяг « $V \approx 0,05$  м<sup>3</sup>». Проєктувальний розрахунок (рис. 4) проведемо графічним способом, поєднавши перетворені функції належності відповідних обмежень за формулою (5) та функцію належності бажаного обсягу матеріалу.

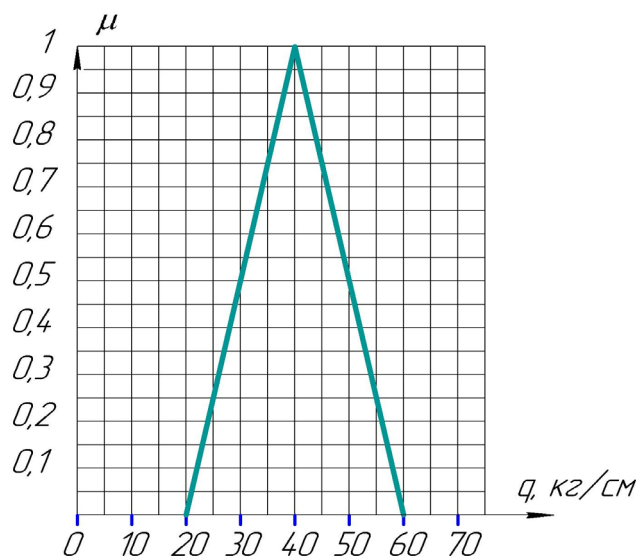


Рис. 2. Функція належності навантаження

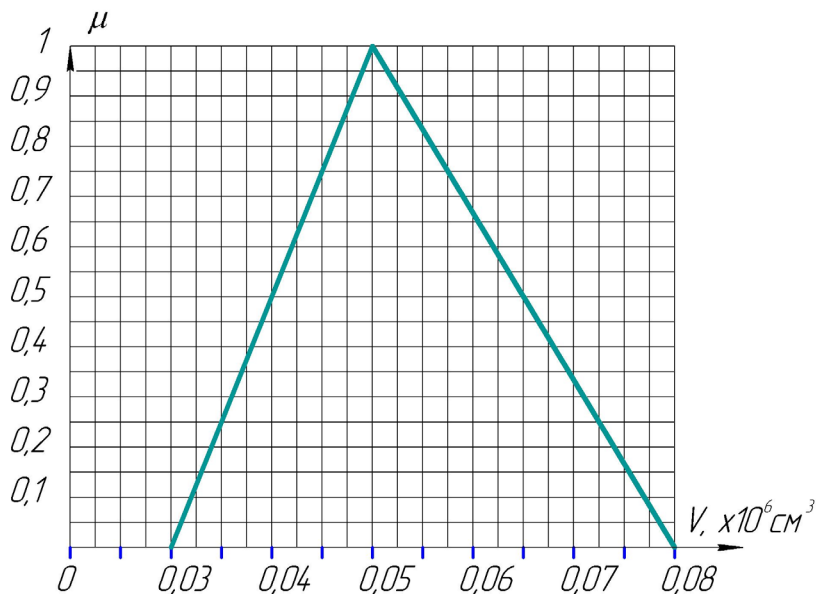


Рис. 3. Функція належності бажаного обсягу матеріалу

Тобто цілі сформовано для випадку фіксованого детермінованого значення модуля пружності сталі, довжини балки  $l = 3$  м, ширини балки  $b = 15$  см та завданні бажаної висоти балки нечітко терміном «приблизно 11 см».

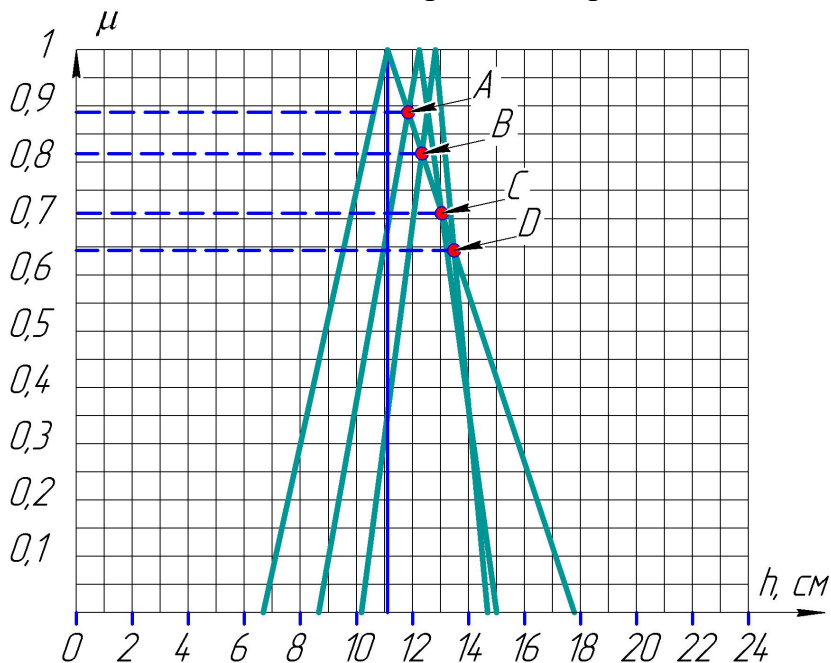


Рис. 4. Суміщення нечітких чисел на одній координатній осі

$\Phi_0 \cap \Phi_3 = \min(\mu_{\Phi_0}; \mu_{\Phi_3})$ . З двох точок перетину візьмемо з найменшою можливістю ( $m.A$  и  $m.C$ )  $= \min(0,8892; 0,7097) = 0,7097$ .

$\Phi_0 \cap \Phi_1 = \min(\mu_{\Phi_0}; \mu_{\Phi_1})$  З двох точок перетину візьмемо з найменшою можливістю ( $m.B$  и  $m.D$ )  $= \min(0,816; 0,6438) = 0,6438$ .

Множина  $Q = (\Phi_0 \cap \Phi_3) \wedge (\Phi_0 \cap \Phi_1)$  є областю розв'язків.

Точка С задовольняє умовам об'єднання і рівень можливості буде взято як  $\max(0,07097; 0,6438) = 0,7097$ . Отже, за рис. 4 можна побачити, що значення параметра поперечного перерізу балки буде дорівнювати  $\mu = 0,7097 \rightarrow h = 13\text{см}$ . Визначивши ступінь належності для точки С за рис. 2 та 3, визначимо відповідні навантаження та обсяг матеріалу:  $\mu = 0,7097 \rightarrow q_1 = 34\text{кг/см}$  та  $q_2 = 46\text{кг/см}$ ;  $\mu = 0,7097 \rightarrow V_1 = 0,044\text{м}^3$  та  $V_2 = 0,0585\text{м}^3$ ,  $V_1, V_2 \leq 0,8$  за умовою.

Звичайно, що проектувальний розрахунок повинен відповідати умовам міцності (1) та жорсткості (2). Для випадку  $q_1 = 34\text{кг/см}$ ,  $h = 13\text{см}$  умови міцності та жорсткості виконуються:

$$\sigma = \frac{3ql^2}{4bh^2} = \frac{3 \cdot 34 \cdot 9 \cdot 10^4}{4 \cdot 15 \cdot 169} = 905 < 1200 \text{ кг / см}^2,$$

$$f = \frac{5 \cdot 34 \cdot 81 \cdot 10^8}{32 \cdot 15 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2197} = 0,653 \leq 0,8 \text{ см}^2$$

Для випадку  $q_2 = 46\text{кг/см}$ ,  $h = 13\text{см}$  умови міцності та жорсткості не виконуються:

$$\sigma = \frac{3ql^2}{4bh^2} = \frac{3 \cdot 46 \cdot 9 \cdot 10^4}{4 \cdot 15 \cdot 169} = 1224 > 1200 \text{ кг / см}^2,$$

$$f = \frac{5 \cdot 46 \cdot 81 \cdot 10^8}{32 \cdot 15 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2197} = 0,88 > 0,8 \text{ см}^2.$$

Тож результатом проектувального розрахунку статично визначеної балки є такі величини. Розмір поперечного перерізу  $h = 13\text{см}$ ; розподілене навантаження  $q = 34\text{кг/см}$ ; обсяг матеріалу  $V = 0,0585\text{м}^3$ .

### Література

1. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Є. С. Опір матеріалів. Київ: Вища школа, 2004. 655 с.
2. Baranenko Valeriy, Volchok Denys. Evaluation de déplacement maximal d'un noeud constructif à condition de robustesse et ayant un volume imprécis Revista Romana de Inginerie Civila, Volumul 9 (2018), Numarul 3. P. 307–314.
3. Baranenko V., Volchok D. Evaluation of the maximum axial force on a cylindrical shell structure in terms of stability and strength using fuzzy

quantities of chosen geometric parameters. *Roads and Bridges-Drogi i Mosty*. 2016. T. 15. №. 1. С. 71–81.

4. Rutkowska D., Pilinski M., Rutkowski L. Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. PWN, Warsaw – Logz, 1999. 452 p.
5. Zadeh L. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8. 1965. P. 338–353.