

ДО ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЙ ПРОЛЬОТНИХ БУДОВ

Дехтяр А.С.

Національний транспортний університет

1. Будівельники і архітектори ще з студентських років звикають до того, що область раціонального застосування балок обмежено порівняно невеликими прольотами. Звичайно це твердження відноситься до металевих балок – прокатних і зварних. Збільшення прольоту вимагає переходу до ґратчастих конструкцій. За деякими даними [1, 2] прокатні балки раціональні при довжинах прольотів до 12 м, складені – до 14 м, шпренгельні балки – до 21 м. Частина цих результатів представлено на рис. 1 [1] для рівномірно розподіленого навантаження інтенсивністю 4 кН/м^2 .

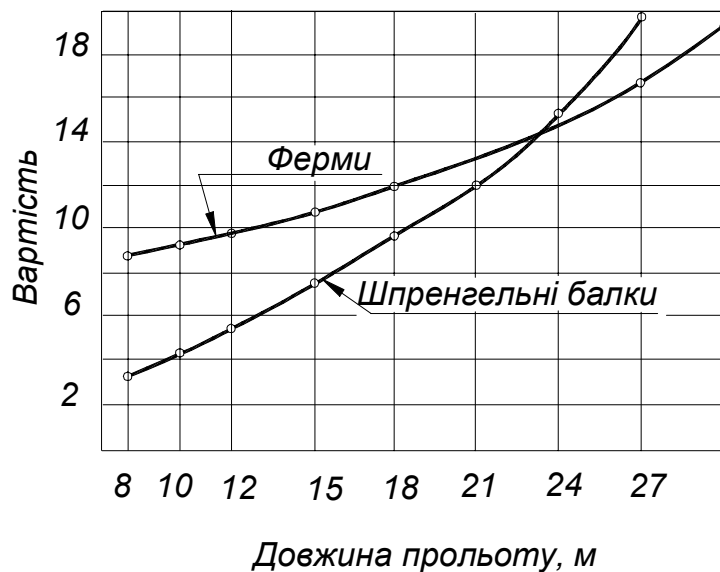


Рис. 1

Вони отримані при порівнянні економічності сталевих балок і ферм з урахуванням вартості основних матеріалів, вартості виготовлення, мірності поставок, кількості відходів, використано також будівельні коефіцієнти ваги, трудомісткості і вартості.

Якби ферма складалася з одних тільки розтягнутих стержнів, вона була б повнонапруженою конструкцією, тобто в усіх елементах матеріал використовувався би повністю. У такому разі ферма була би завжди легшою від балки, яка повнонапруженою конструкцією не є. Дійсно, у статично визначуваній однопрольотної балки в кращому разі – при пластичній поведінці – повністю матеріал використовується лише в одному поперечному перетині, а в пружній балці – тільки в двох волокнах або навіть в одному крайньому волокні небезпечного перетину. Оскільки звичайно ферма окрім розтягнутих має і стиснуті елементи, напруження в яких набагато менше від граничних, конкуренція між фермою і балкою цілком реальна в рамках категорій і понять будівельної механіки без залучення економічних, технологічних і інших подібних чинників.

Нижче розглянуто задачу про вибір типу конструкції (балки, ферми або арки) із залізобетону. Тут також відомі деякі рекомендації [2, 3]. Наприклад, в [3] є твердження про те, що залізобетонні ферми доцільно застосовувати при довжинах прольотів понад 18 м.

Слід врахувати, що залізобетон – неоднорідний матеріал з неоднаковими границями міцності при стисненні і розтягуванні. Крім того, область, що містить межу раціонального застосування балок і ферм, повинна бути, як мінімум, двовимірною. Можливо, крім довжини прольоту ще однією незалежною змінною повинна бути інтенсивність навантаження. При цьому змінювання навантаження, що припадає на погонний метр балки або ферми, може трактуватися як змінювання інтенсивності навантаження, розподіленого на одному квадратному метрі площі, що перекривається, або як змінювання відстані між балками або фермами при незмінній інтенсивності навантаження.

2. Залізобетонна балка прямокутного поперечного перетину $b \cdot h$ шарнірно оберта по кінцях і знаходиться під дією поперечного навантаження інтенсивністю q , рівномірно розподіленого по всьому прольоту завдовжки l . Нехтуючи в першому наближенні роботою стиснутої арматури, представимо граничний згинальний момент співвідношенням

$$M_0 = bh^2 R_a \mu \zeta, \quad (1)$$

де μ - коефіцієнт армування, R_a - розрахунковий опір арматури, $\zeta = z_0 h^{-1}$ – відносна величина плеча внутрішньої пари. З умови рівноваги внутрішніх сил в перетині балки знаходимо

$$\zeta = 1 - 0,5\xi. \quad (2)$$

Тут $\xi = \mu R_a R_{pb}^{-1}$ – відносна висота стиснутої зони. З (1) і (2) одержуємо

$$M_0 = bh^2 R_a \mu (1 - \xi). \quad (3)$$

Введемо позначення $b = \beta h^{-1}$ і знайдемо з умови $M_0 = 0,125ql^2$ необхідну висоту перетину балки

$$h = (0,125ql^2) / (\beta \mu R_a (1 - \xi))^{0,667},$$

тоді об'єм бетону, що припадає на одиницю довжини балки, становитиме

$$v_{1c} = \beta (0,125ql^2) / (\beta \mu R_a (1 - \xi))^{0,667}, \quad (4)$$

а з урахуванням арматури, приведені до бетону, отримуємо остаточно

$$v_1 = v_{1c} (1 + \xi). \quad (5)$$

3. Розглянемо залізобетонну ферму з паралельними поясами і розкосною решіткою (спадні розкоси). Така ферма зручна для подальших розрахунків тим, що має практично однакове число $2n$ розтягнутих і $2n+1$ стиснутих елементів, тут позначено n – число панелей. Для простоти обмежимося конфігурацією ферми з квадратною панеллю.

Визначимо зусилля у всіх елементах ферми, виходячи із звичайної шарнірної розрахункової схеми.

Якщо повне навантаження на ферму $Q = ql$, то кожна з n вузлових зосереджених сил, прикладених до вузлів верхнього пояса, дорівнює $P = qn^{-1}l$. Приведений об'єм матеріалу, що припадає на одиницю довжини ферми, представимо виразом

$$v_2 = K_1 ql(\varphi^{-1} + \xi^{-1})R_{i0}^{-1}, \quad (6)$$

де φ - коефіцієнт, що враховує гнучкість стиснутих стержнів, а коефіцієнт K_1 подано в табл. 1 для ферм з різним числом n панелей.

Таблиця 1

n	4	6	8	10	12
K_1	0,83	0,89	1,09	1,25	1,41

4. Розглянемо далі статично визначувану тришарнірну залізобетонну арку постійного перетину з параболічним окресленням осі при дії рівномірного поперечного навантаження. Щоб уникнути невизначеності при підрахунку витрат матеріалу на влаштування нерухомих п'ят, далі розглядатимемо арку із затяжкою. Про залізобетонні арки відомо [3], що вони стають економічніше від ферм при довжині прольоту понад 36 м.

Нехай вісь арки описано рівнянням

$$y = 4fx(l-x)l^{-2}, \quad (7)$$

де $\gamma = fl^{-1}$ – положистість. Кут нахилу α дотичної до осі арки в точці обпирання знайдемо диференціюванням рівняння (7)

$$\alpha = \text{arctg}(4\gamma). \quad (8)$$

Найбільша осьова сила виникає в п'яті арки і становить

$$N = Q_0 \sin \alpha + H \cos \alpha, \quad (9)$$

а зусилля в затяжці визначається співвідношенням

$$S = 0,125ql\gamma^{-1}. \quad (10)$$

Маючи в своєму розпорядженні величини внутрішніх зусиль, доберемо перетини арки і затяжки, потім обчислимо приведену витрату матеріалу, що припадає на одиницю довжини конструкції. Додатково врахуємо матеріал, що витрачено на виготовлення підвісок. Якщо вони не використовуються для попереднього напруження затяжки, то їхні перетини призначаються конструктивно і не залежать від величини навантаження. Об'єм матеріалу підвісок слабо залежить також і від довжини прольоту, тому він в першому наближенні може вважатися константою. При підрахунку витрати матеріалів обмежимося далі розглядом тільки положистих арок, у яких довжина власне арки не відрізняється від довжини затяжки. Остаточну витрату матеріалу представимо співвідношенням

$$v_3 = K_2 qlR_{i0}^{-1} + \tilde{n}, \quad (11)$$

де коефіцієнт K_2 залежить від пологістості γ арки, міцності бетону R_{i0} і матеріалу затяжки. Для випадку $\mu = 0,02; R_{np} = 25\text{МПа}; R_a = 300\text{МПа}$ величини K_2 представлено в табл. 2.

Таблиця 2

γ	0,05	0,10	0,20	0,3	0,4
K	11,4	6,32	3,56	2,71	2,02

5. Для встановлення достовірності запропонованих співвідношень (5), (6) і (11), проведемо деякі порівняння.

В [3] наведено дані про витрату бетону $2,84 - 2,98 \text{ м}^3$ і сталі $341 - 479 \text{ кг}$ на виготовлення балки прольотом $l = 18 \text{ м}$ з бетону М400 при навантаженні $350 - 550 \text{ кг/м}^2$ і кроці 6 м . Обчислений за цими даними (узята верхня границя з інтервалу навантажень) питома витрата бетону становила $1665 \text{ см}^3/\text{см}$, а приведена питома витрата – $1993 \text{ см}^3/\text{см}$.

Щоб скористатися з співвідношення (5), встановимо, що навантаженню 550 кг/м^2 і кроку 6 м відповідає інтенсивність розподіленого навантаження на балку $3,3 \text{ т/м}$. Для такого навантаження обчислення за (5) приводять до оцінки приведеної питомої витрати $v_1 = 2020 \text{ см}^3/\text{см}$.

В [3] наведено дані про витрату бетону $3,06 - 3,63 \text{ м}^3$ і сталі $490 - 759 \text{ кг}$ на виготовлення ферми прольотом $l = 18 \text{ м}$ з бетону М300 при кроці 12 м і при такому ж навантаженні, що й балки. Обчислена за цими даними питома витрата бетону дорівнює $1700 - 2010 \text{ см}^3/\text{см}$, а приведена витрата становить $2047 - 2547 \text{ см}^3/\text{см}$.

Вибираємо для порівняння середнє з інтервалу навантаження, а саме 400 кг/м^2 і одержуємо при кроці ферм 12 м інтенсивність розподіленого навантаження на ферму $4,8 \text{ т/м}$. Обчислення за (6) дають оцінку приведеної питомої витрати матеріалу $v_2 = 2460 \text{ см}^3/\text{см}$, тим часом для ферми [3] отримуємо $v_2 = 2192 \text{ см}^3/\text{см}$.

В [3] наведено дані про витрату бетону $2,08 \text{ м}^3$ і сталі 416 кг на виготовлення арки із затяжкою прольотом 18 м з бетону М400 при кроці 6 м і навантаженні 380 кг/м^2 . Приведена питома витрата матеріалу при цьому становить $2656 \text{ см}^3/\text{см}$, а відповідні обчислення за (11) призводять до оцінки $v_3 = 2360 \text{ см}^3/\text{см}$.

Отримані тут результати порівняно в табл. 3.

Таблиця 3

Джерело	Питома приведена витрата бетону, $\text{см}^3/\text{см}$		
	Балка	Ферма	Арка
[3]	1993	2192	2525
Ця робота	2020	2460	2360
Відношення оцінки [3] до отриманої тут оцінки	0,986	0,89	1,07

Останній рядок табл. 3 свідчить про достовірність наведених вище оцінок питомої витрати (5), (6) і (11). Правдоподібним видається й те, що обидві оцінки для балки узгоджуються з найбільшою точністю.

6. Для визначення таких областей на площині l, q , де та або інша конструкція найбільш ефективна, було виконано порівняльні обчислення для таких початкових даних $R_a = 300 \text{ МПа}$; $R_{np} = 30 \text{ МПа}$; $\mu = 0,02$; $\varphi = 0,55$; $\beta = 0,2$. Для зіставлення окрім балки було вибрано ферму з числом панелей $n = 12$ і арку з пологістю $\gamma = 0,1$, для них відповідно $K_1 = 1,41$; $K_2 = 7,57$. Результати розрахунку показано на рис. 2.

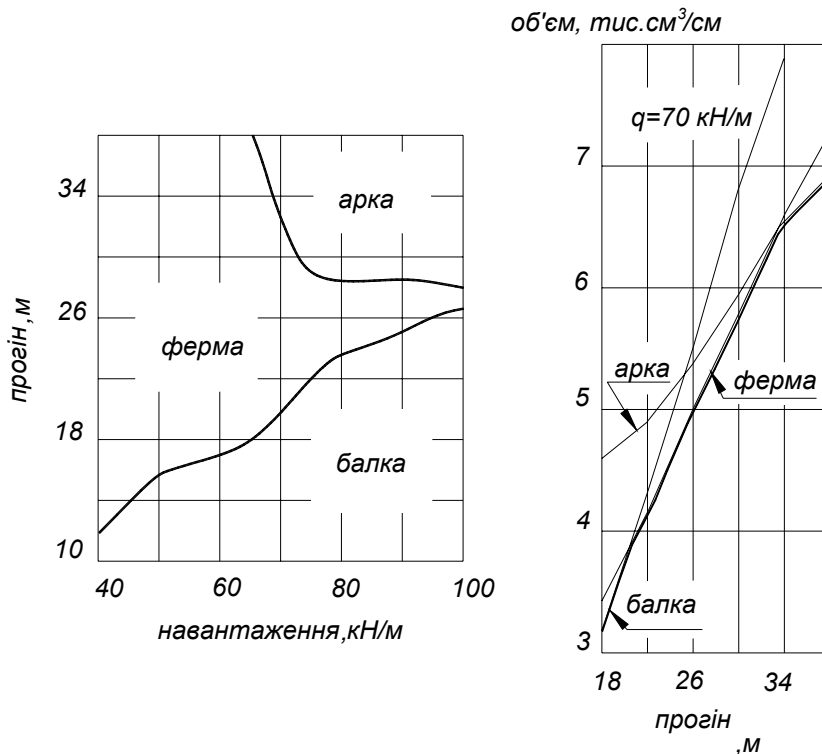


Рис. 2

На підставі представлених і інших подібних результатів можна зробити деякі **висновки**.

1. Тут розглянуто цілком реальні міцнісні характеристики балок, ферм і арок, реальні межі змінювання довжин прольотів і навантажень, при цьому знайдені області ефективного застосування кожної з конструкцій і переходи між ними приблизно відповідають рекомендаціям, існуючим в літературі. Єдиним критерієм оптимальності тут прийнято приведену питому витрату матеріалів.
2. Межі областей ефективного використання тієї або іншої конструкції крім довжини прольоту залежать також і від інтенсивності навантаження. Збільшення навантаження розширює область використання балок.
3. Отримані результати не претендують на узагальнення і не можуть бути безпосередньо поширено на балки, ферми і арки іншої конструкції або з іншими характеристиками. Визначення границь ефективності інших конфігурацій балок, ферм і арок вимагає додаткових розрахунків. Очевидно, що для задач реального будівельного проектування

можна отримати більш правдоподібні результати, якщо врахувати вартості виготовлення, спорудження і експлуатації. Мета цього розгляду – показати можливість отримання правдоподібних оцінок в рамках найпростішої постановки задачі – при використанні тільки приведеної питомої витрати матеріалу

Література

1. Лихтарников Я.М. Экономика стальных конструкций. – 1962. – Госстройиздат УССР. – 179 с
2. Лихтарников Я.М., Летников Н.С., Левченко В.Н. Техничко-экономические основы проектирования строительных конструкций. – 1980. – Вища школа. – Киев-Донецк. – 240 с.
3. Мурашев В.И., Сигалов Э.Е., Байков В.Н. Железобетонные конструкции. – 1962. – М.: Госстройиздат. – 659 с.