

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОСТОРОВОЇ РОБОТИ МЕТАЛЕВИХ ФЕРМ ВІД ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

На сьогодні актуальною є проблема надзвичайної спрощеності розрахункових моделей, що використовуються при розрахунку та проектуванні металевих прогонових будов з наскрізними фермами з їздою низом. Часто це призводить до значних похибок у розрахунках.

В роботі виконано дослідження просторової роботи прогонової будови методом скінченних елементів. У якості досліджуваної конструкції було використано типову прогонову будову (типовий проект №690/2).

На основі отриманих результатів розроблена модель для розрахунку додаткових зусиль в поясах ферми, яка відповідає реальній роботі конструкції.

На сегодняшний день существует проблема чрезвычайной упрощенности расчетных моделей, которые используются при расчете и проектировании металлических пролетных строений со сквозными фермами с ездой понизу. Часто это приводит к значительным погрешностям в расчетах.

В работе выполнены исследования пространственной работы пролетного строения методом конечных элементов. В качестве исследуемой конструкции было использовано типовое пролетное строение (типовой проект №690/2).

На основании полученных результатов разработана модель для расчета дополнительных усилий в поясах фермы, которая отвечает реальной работе конструкции.

There is a problem of simplified of computational models, which are used at calculation and designing of metal superstructures as a frame. Sometime it leads to the considerable errors in calculations.

In this work researches of dimensioned behavior of a superstructure by a finite element method was implemented. In the capacity of calculated construction the standard superstructure (a type project №690/2) has been used.

Ground obtained results the model for calculation of supplemental forces in chords was designed, which simulate a behavior of constructional.

Металеві прогонові будови з наскрізними фермами – це складні просторові конструкції з великою кількістю елементів.

Як особливість роботи даної конструкції можна відзначити складну просторову взаємодію всіх елементів конструкції при сприйнятті тих чи інших навантажень. У відповідності з чинними нормами та правилами розрахунку прийнято спрощувати прогонову будову до плоских моделей, та за цими розрахунковими схемами проводити всі обчислення.

Подібні методики добре висвітлені у вітчизняній літературі [1; 2; 4].

Ці спрощення розрахункових моделей призводять до суттєвих похибок при визначенні внутрішніх зусиль в елементах. Безперечно, дані методики розрахунку мають свою область використання і можуть бути застосовані для попереднього розрахунку елементів прогонової будови, але колосальні запаси, що закладені у припущеннях, можуть суттєво збільшувати вагність конструкції. Тому оптимальним буде певний компроміс між спрощеними методами розрахунку і більш точними новітніми методами комплексних розрахунків конструкції, які

дозволяють враховувати практично всі особливості напруженого стану всіх елементів мосту.

Особливу увагу привертає до себе методика спрощеного розрахунку прогонової будови на горизонтальні навантаження, викладена у літературі [1]. У відповідності з цією методикою зусилля від тиску вітру на елементи ферми розподіляється між верхніми та нижніми вітровими в'язями у співвідношенні 60 та 60 %.

Тільки одне дане припущення вже збільшує навантаження на ферму на 20 %, що є не зовсім коректним при сучасному розвитку методів розрахунку.

У даній роботі наведена спроба визначення більш точних співвідношень між навантаженнями, які прикладені на верхні та нижні вітрові ферми.

Всі численні розрахунки, що представлені у цій роботі, було проведено в програмному комплексі Selena 4.1.1.

Ця програма заснована на методі скінченних елементів, дозволяє розраховувати конструкцію будь-якої складності, з кількістю кінцевих елементів до 64000, чого достатньо для проведення даних розрахунків.

У якості моделі було прийнято рішення використовувати тривимірну стержневу конструкцію, геометричні характеристики якої відповідають прогоновій будові з наскрізними ферма-

ми з їздою низом,  $l_p = 55$  м (Проектування ПСК типовий проект №690/2). Створену модель можна побачити на рис. 1.

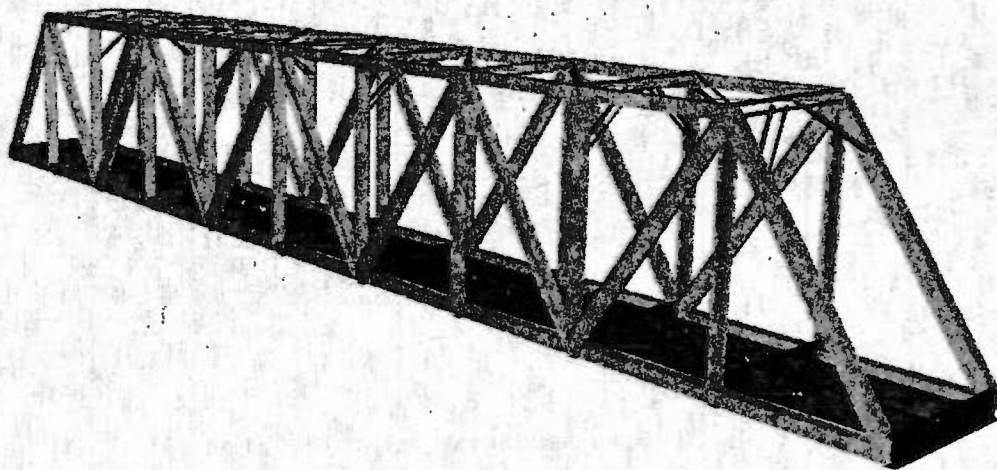


Рис. 1. Модель прогонової будови

На початку досліджень було проведено тестування даної моделі на відповідність її натурним характеристикам.

Тиск вітрового навантаження на прогонову будову було визначено у відповідності з методикою, викладеною в роботі [3], за якою величина тиску вітрового навантаження була визначена з виразу:

$$W^p = W_n \gamma_{fw},$$

де  $\gamma_{fw} = 1,5$  – коефіцієнт надійності,  $W_n$  – нормативна інтенсивність вітрового навантаження в  $\text{кН/м}^2$ .

Для кожного елемента величина інтенсивності погонного навантаження визначалася окремо за формулою:

$$q = W^p h,$$

де  $h$  – висота елемента.

Величина інтенсивності була визначена для наступних елементів:

- поздовжня балка:

$$q = 2760 \cdot 0,88 = 2428,8 \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

- нижній пояс, верхній пояс, опорний розкіс:

$$q = 2760 \cdot 0,45 = 1242 \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

- розкоси:

$$q = 2760 \cdot 0,42 = 1159,2 \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

- стійки, підвіски:

$$q = 2760 \cdot 0,26 = 717,6 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Дані інтенсивності навантажень були прикладені до відповідних кінцевих елементів, як показано на рис. 2.

Метою даного розрахунку є підтвердження або спростування наступних припущень:

- на верхню та нижню вітрову ферму діє по 60 % від вітрового навантаження, що діє на елементи наскрізних ферм;
- на верхню та нижню вітрову ферму припадає відповідно 40 та 80 % навантаження, що діє на рухомий склад;
- на поздовжню балку на верхню та нижню вітрову ферму припадає відповідно 40 та 80 % навантаження, що діє на поздовжню балку.

В результаті розрахунку було отримано зусилля від прикладеного навантаження в кожному елементі, але це не можна вважати за кінцевий результат, оскільки за ними не можна оцінити ступінь розподілення вітрового навантаження між двома фермами.

У відповідності з роботою [2; 4] прийнято визначати зусилля в елементах ферми за допомогою балочних моментів в залежності від інтенсивності навантаження.

Ці величини знаходяться у відповідності з розрахунковою схемою, зображеною на рис. 3.

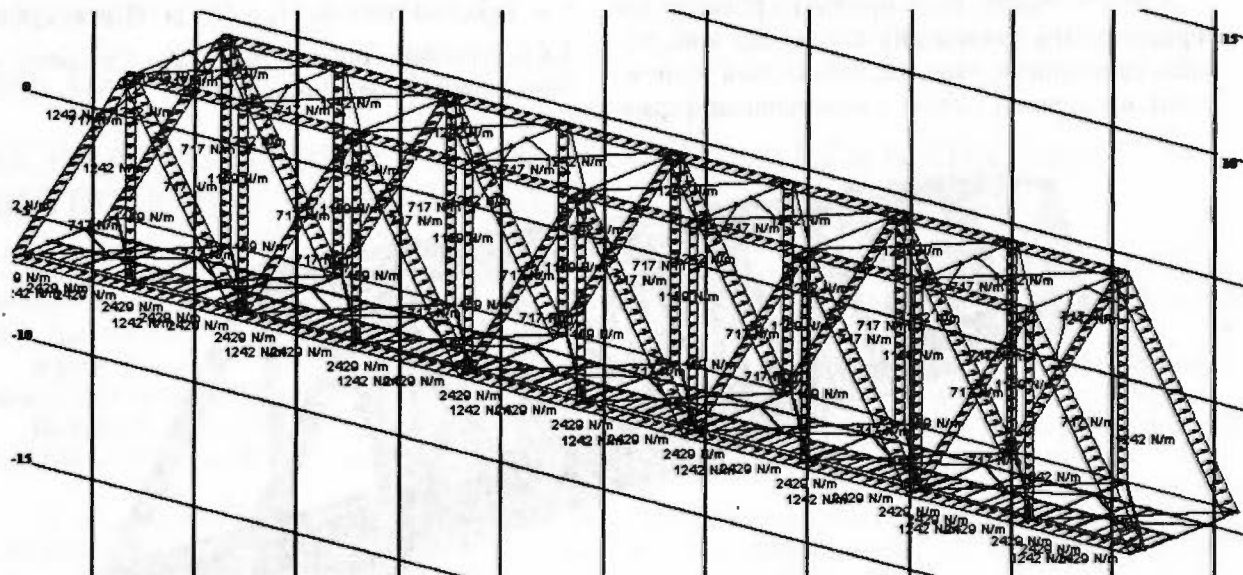


Рис. 2. Схема завантаження прогонової будови

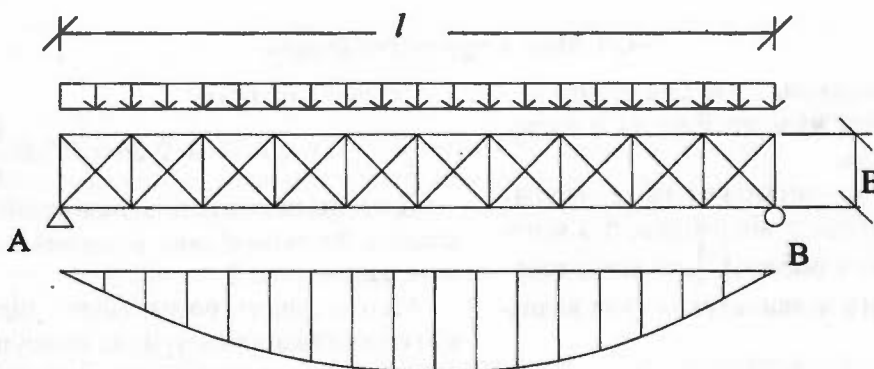


Рис. 3. Епюра балочних моментів

Зусилля визначається за формулою:

$$S = \frac{M}{B},$$

де  $B$  – відстань між осями,  $M$  – балочний момент, що визначається з виразу

$$M = \frac{ql^2}{8} - \frac{ql^2}{4},$$

де  $l$  – довжина вітрової ферми,  $q$  – інтенсивність вітрового навантаження на відповідну ферму.

В даному випадку потрібно виконати обернену задачу: знайти інтенсивність погонного навантаження знаючи зусилля в елементах.

Як показали розрахунки даної моделі, результати яких представлені на рис. 4, а, б, епюра балочних моментів представлена схематично на рис.4, в.

Дана епюра суттєво відрізняється від епюри, що зазвичай використовується для розрахунків

у відповідності з роботами [2; 4], та представлена на рис. 3.

Для визначення інтенсивності навантаження потрібно скласти рівняння рівноваги для балки, та з нього визначити інтенсивність вітрового навантаження.

Запишемо рівняння рівноваги відносно точки В

$$\Sigma M_B = 0;$$

$$W_{\text{вн}} \frac{l_p^2}{2} - M_{\text{он1}} + M_{\text{он2}} - R_A l_p = 0.$$

Після перетворень маємо:

$$W_{\text{вн}} = \frac{\frac{M_{\text{он1}}}{l_p} X - \frac{M_{\text{он2}}}{l_p} X + M_{\text{он2}} + M_{\text{МАК}}}{\frac{l_p}{2} X - \frac{X^2}{2}};$$

У відповідності з цією формулою знаходимо інтенсивність погонного навантаження від тиску вітру на певні елементи, що розподіляється на верхню та нижню ферми.

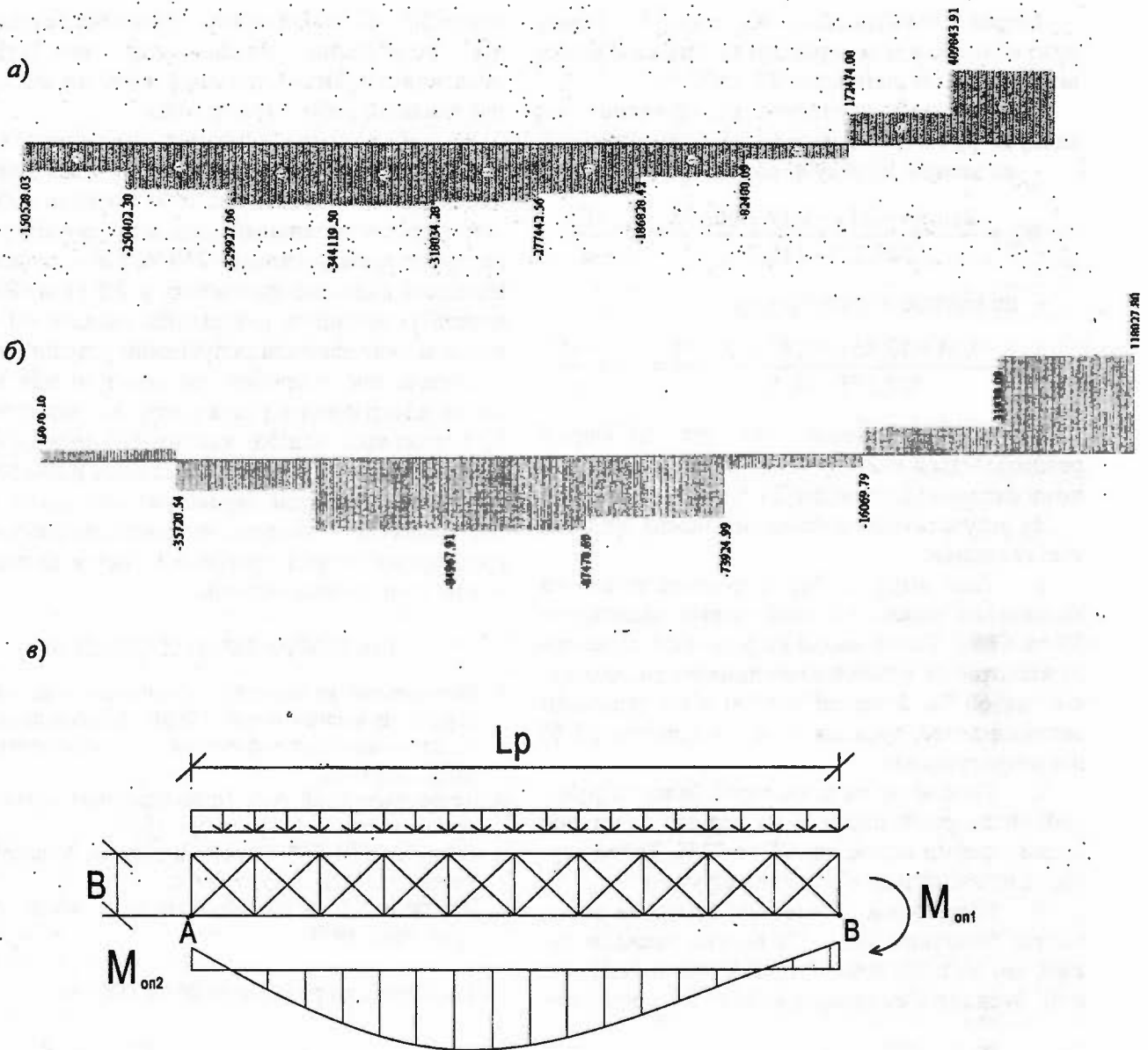


Рис.4. Епюра зусиль та розрахованих балочних моментів:

а – нижній пояс; б – верхній пояс; в – уточнена розрахункова схема

Інтенсивність погонного навантаження від тиску вітру на ферму буде рівна:

- на нижню вітрову ферму

$$W_{38}^H = \frac{1054,16 + 200,7 - 573,42 + 1961,37}{529,375 - 185,281} = 7,68 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

- на верхню вітрову ферму

$$W_{38}^B = \frac{429,92 - 161,1 + 368,22 + 248,52}{423,5 - 15,281} = 3,72 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

Вітрове навантаження від тиску на ферму розподіляється між верхніми та нижніми вітровими фермами відповідно 33 до 67 %.

Інтенсивність погонного навантаження від тиску вітру на рухомий склад буде рівна:

- на нижню вітрову ферму

$$W_{38}^H = \frac{731 - 31,7 + 90,63 + 1202,13}{529,375 - 185,28} = 5,79 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

- на верхню вітрову ферму

$$W_{38}^B = \frac{-32,06 + 129,50 - 414,39 + 760,95}{309,375 - 94,531} = 2,14 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

Вітрове навантаження від тиску на ферму розподіляється між верхніми та нижніми вітровими фермами відповідно 27 та 73 %.

Інтенсивність погонного навантаження від тиску вітру на поздовжню балку буде рівна:

- на нижню вітрову ферму

$$W_{3a}^n = \frac{216,66 - 3,19 + 9,12 + 361,95}{529,375 - 185,28} = 1,7 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

- на верхню вітрову ферму

$$W_{3a}^в = \frac{-0,71 + 30,46 - 97,47 + 201,21}{309,375 - 94,531} = 0,64 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

Вітрове навантаження від тиску на ферму розподіляється між верхніми та нижніми вітровими фермами відповідно 27 до 73 %.

За результатами досліджень можна зробити такі висновки:

1. Тиск вітру на ферму розподіляється на верхню та нижню вітрові ферми відповідно 33 та 67 %. Тобто нижні вітрові в'язі перенапружені, так як в загальному випадку розраховуємо на 60 %, а верхні вітрові в'язі отримали великий запас, зусилля в них складають 55 % від розрахункових.

2. Тиск вітру на поздовжню балку та рухомий склад розподіляється на верхню та нижню вітрову ферми відповідно 27 та 73 %. Тобто верхні та нижні вітрові в'язі недонапружені.

3. Розрахунок додаткових зусиль за допомогою балочних моментів можна вважати таким, що не відповідає реальній роботі конструкції. Зусилля в елементах виявилися завищени-

ми на 50...60 %. На основі отриманих результатів розроблена модель для розрахунку додаткових зусиль в поясах ферми, яка відповідає реальній роботі конструкції.

4. Якщо скласти похибку, що закладена на етапі розподілу навантажень та на етапі визначення зусиль в елементах, то відносна похибка, наприклад, у верхньому поясі від тиску вітру на наскрізну ферму складає 260 %, тобто зусилля завищені відносно фактичних у 2,6 рази. Найменша розбіжність результатів складає 60 %, що не можна вважати допустимим результатом.

Задача про розробку достатньо точних методик аналітичного розрахунку, що дозволили б прорахувати подібні конструкції, може бути поставлена, але на сьогодні, єдиним рішенням, як можна уникнути перевитрат матеріалів на непередбачених запасах, є повний розрахунок просторової моделі прогонової будови за допомогою ітераційних методів.

#### БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Технические условия проектирования ж/д, а/д и городских мостов и труб(СН 200-62).Всесоюзное издательско-полиграфическое объединение МПС. М.: 1962.
2. Петропавловский А.А. Проектирование металлических мостов. М.:Транспорт, 1982.
3. СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы». Минстрой России.: ГП ЦПП, 1996. 214 с.
4. Протасов К.Г. и др. Металлические мосты. М.: Транспорт, 1973.

Надійшла до редколегії 06.04.2007.