

УДК 624.011

к.т.н, професор Кліменко В. З., Коваль А. В.,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## РОБОТА ЕЛЕМЕНТІВ НА СТИСК ЗІ ЗГИНОМ У СЕГМЕНТНИХ ФЕРМАХ

*В статті розглянуто роботу панелей верхнього поясу сегментних ферм, що працюють на стиск зі згином. Виконано порівняння розрахунку криволінійних та прямолінійних елементів.*

*Ключові слова: сегментні ферми, криволінійні елементи, клеєна деревина, панелі верхніх поясів сегментних ферм.*

Сегментні ферми привабливі тим, що внаслідок збігу їхнього обрису із кривою тиску, поздовжнє зусилля у верхньому поясі по його довжині змінюється мало, а стержні грат слабо навантажені. Ці обставини дозволяють виконувати верхній пояс із однакових (стандартних) блоків із клеєної деревини і стержні грат приєднувати до поясів через парні листові накладки за допомогою одного вузлового болта. Розкоси грат виконуються центрованими у вузлах, тим самим виконується важлива вимога СНиП II-25-80, п. 6.24. Сегментні ферми дозволяють перекривати великі прольоти [1]. Серед плоских наскрізних балкових ферм сегментні ферми є найраціональнішою конструктивною формою. Слабка навантаженість стержнів грат дозволяє стиснути розкоси робити великої довжини, завдяки цьому грати стають розрядженими і блоки верхнього пояса можуть бути великорозмірними. Останній обставині сприяє використання нового ефективного в порівнянні із суцільною деревиною матеріального ресурсу – деревини клеєної [2]. Сегментні ферми – приклад ефективної дії згортання технічної системи в результаті чинності закону розгортання-згортання технічної системи (ТС) [3]. Згортання сегментних ферм, як ТС, супроводжується спрощенням внутрішньої структури ТС, виключенням окремих підТС системи (елементи грат), укрупненням інших підТС (панелей верхніх поясів). У результаті повного згортання зникають взагалі розкоси грат. Це явище без застосування визначень, властивих законам розвитку технічних систем (ЗРТС) [3], називалося в техніці «виродженням» окремих елементів. Такий шлях у випадку із сегментними фермами привів до їхньої трансформації в нову раціональнішу конструктивну форму – арки. Не випадково в літературі зустрічалось визначення арок з затяжками як безрозкісних ферм. Згортання забезпечило підвищення ступеня ідеальності ТС (це також один зі ЗРТС) у рамках існуючої конструктивної концепції – геометрія пологих арок повністю збігається з геометрією сегментних ферм. Ступінь ідеальності ТС у процесі її еволюції тим вище, чим менше на це потрібно

матеріальних витрат. При переході від сегментних ферм до арок отримуємо економію матеріальних витрат і при цьому ефективніше використовується «порожнеча». Тут «порожнеча» виступає фізично у вигляді відстані між центрами поясів у фермах або в арках. Чим ефективніше використовується «порожнеча», тим ідеальнішою є ТС. В цьому відношенні сегментні ферми ідеальніше, наприклад, ферм трикутних і трапецеїдальних.

Коротке звертання до філософії техніки зроблено з наміром обґрунтування того, що сегментні ферми із клеєної деревини заслуговують на велику увагу з боку проектувальників. Зараз, на нашу думку, вони незаслужено обділені увагою. У діючих СНиП II-25-80 вони навіть не згадуються, втім, як і в попередніх СНиП II-B.4-71. На противагу цьому хочеться згадати НиТУ 122-55, у яких даються докладні рекомендації із проектування сегментних ферм на цвяхах. Природно, ті ферми дуже трудозатратні, менш надійні й ними перекриваються обмежені прольоти. Зараз клеєна деревина дозволяє проектувати великопрольотні великопанельні сегментні ферми (рис. 1), завдяки пластичності деревини й легкості вигину тонких дощок при формуванні з них багатошарового пакета монолітного перерізу.

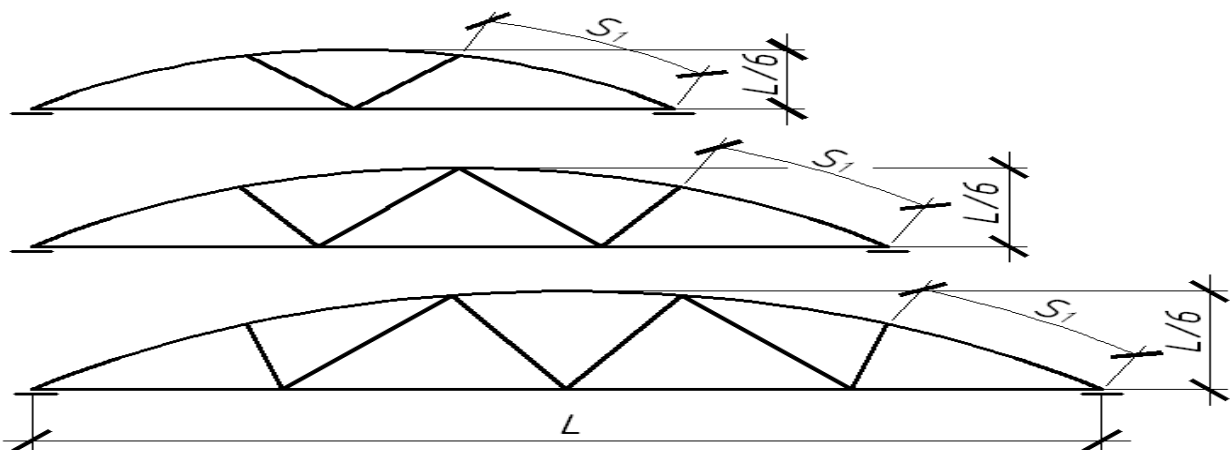


Рис. 1. Сегментні ферми з верхнім поясом зі стандартних панелей

За характером роботи панель верхнього пояса у фермі під навантаженням в учбово-методичній літературі класифікується як елемент, що працює на стиск зі згином [4, 5]. Це відповідає дійсній роботі елементів, показаних на рис. 2.

Але роботи цих двох елементів різні. В елементі за схемою «а» у результаті дії згинального моменту, що дорівнює  $N \cdot f_n$ , збільшується вигин елемента. Робота елемента за схемою «б» інша. Від поперечного навантаження  $q$  діє згинальний момент  $ql^2/8$ , від якого з'являється вигин назустріч кривизні елемента.

Цьому перешкоджає вигин від моменту  $N \cdot f_n$ , спрямований по напрямку кривизни. Деформована схема елемента залежить від кількісного співвідношення моментів  $ql_n^2/8$  і  $N \cdot f_n$  й, отже, від геометрії елемента  $l_n$  і  $f_n$ .

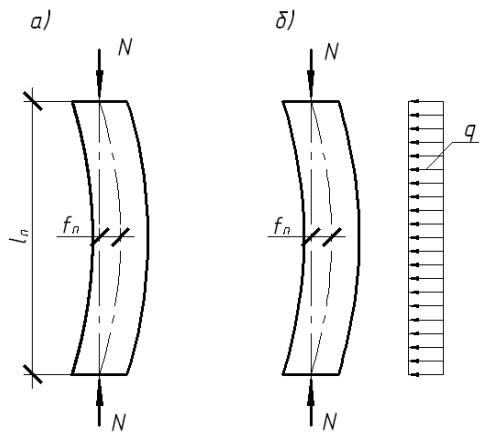


Рис. 2. Схеми криволінійних елементів, що працюють на стиск зі згином

У сегментній фермі згинальні моменти є функціями прольоту і навантаження від снігу не тільки від його величини, але й від схеми на покритті. Це цікаві для проектувальників питання і вони вимагають досліджень як чисельних, так і експериментальних.

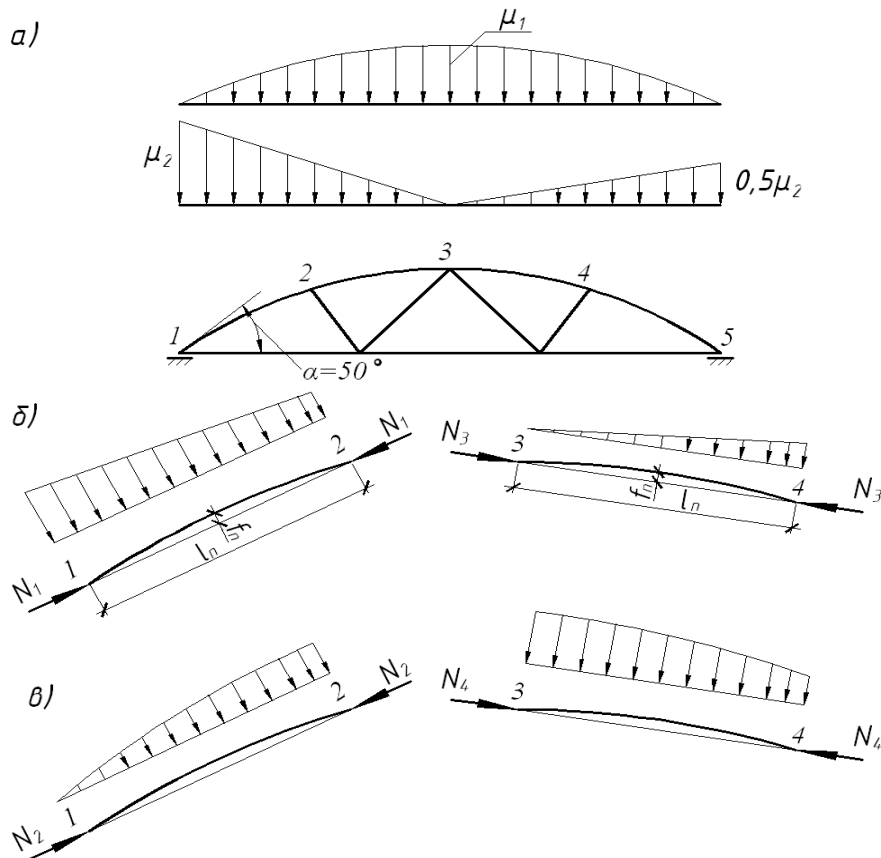


Рис. 3. Схеми снігового навантаження на фермі і розрахункові схеми панелей верхнього пояса

Залежно від кількості панелей верхнього пояса можливі різноманітні їхні розрахункові схеми. На рис. 3, наприклад, показані два варіанти сполучення пар панелей при двох схемах снігового навантаження на чотирьохпанельну ферму (навантаження від власної ваги в панелях змінюється мало). Пари панелей ви-

бираються для обох варіантів снігового навантаження на покритті. На рис. 3, б, в показані можливі пари для несиметричного снігового навантаження. При симетричному сніговому навантаженні, очевидно, що за розрахункові треба приймати панелі 2-3, 3-4. При несиметричному навантаженні потрібен ретельний аналіз роботи різних панелей. Цілком можливий випадок, коли на скаті з меншим снігом момент  $N \cdot f_n$  буде одного порядку, а, можливо, і перевищить момент від поперечного навантаження. Деформована схема елемента, що працює на стиск зі згином, абсолютна інша в порівнянні з випадком, коли  $M = ql_n^2/8 > M = N \cdot f_n$ . Крім цього, якщо у верхньому поясі з'являється стиснута внутрішня грань (при симетричному навантаженні стислою завжди виявляється верхня грань), це спричиняє зміну схеми зв'язків просторової жорсткості покриття. Це надзвичайно важливий факт.

Класифікація панелей верхніх поясів великопанельних ферм будь-якого обрису, як таких елементів, що працюють на стиск зі згином (стиснуто-згинальних) визначає відповідно цьому їхній розрахунок згідно п. 4.17 СНиП II-25-80:

$$\frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_q}{\xi} \cdot \frac{1}{W_{расч}} \leq R_c. \quad (1)$$

Коефіцієнт  $\xi$  враховує те, що в елементі з'являється додатковий згинальний момент, що довантажує, від поздовжньої сили внаслідок прогину елемента (рис. 4) –  $N \cdot f_q$ .

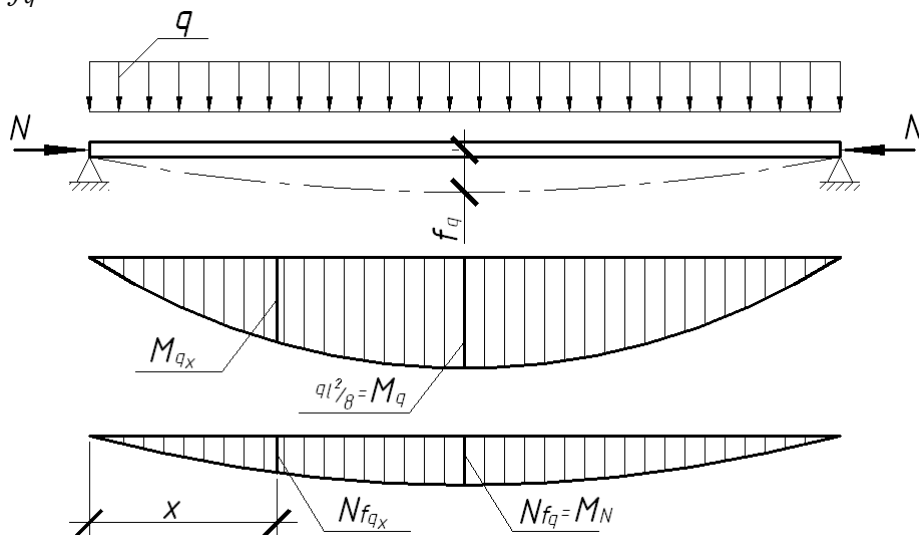


Рис. 4. Схема роботи елемента, що працює на стиск зі згином

Сумарний згинальний момент елемента в будь-якому перерізі по довжині:

$$M_x = M_{qx} + N \cdot f_{qx} \quad (2)$$

Значення прогину  $f_{qx}$  може бути знайдено інтегруванням диференціального рівняння вигнутої осі елемента. У тридцяті роки минулого сторіччя проф. К. С. Заврієв запропонував теорію крайових напружень для стиснуто-згинальних

елементів замість інтегрування рівняння невідомої вигнутої осі, оскільки рішення для прогину представлялося складним. У результаті з того часу у нормах проектування дерев'яних конструкцій дається наближена методика з розрахунковою формулою (1), у якій  $M/\xi \approx M_q + M_N$ .

Розглянемо легітимність застосування формули (1) для розрахунку криволінійних стиснуто-згнутих елементів, схема роботи яких показана на рис. 5.

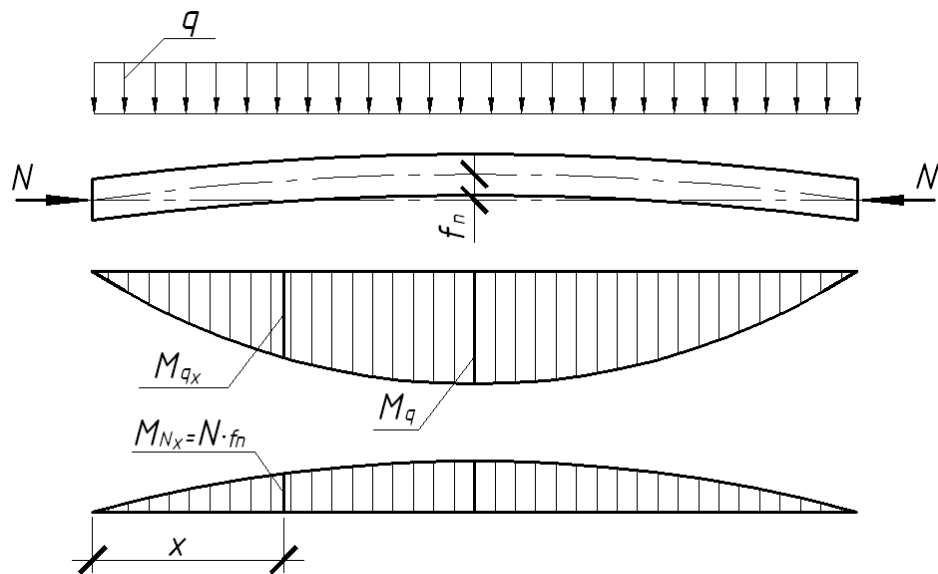


Рис. 5. Схема роботи криволінійного стиснуто-згинального елемента

Як і в прямолінійному елементі діє згинальний момент  $M_{qx}$ . Від кривизни елемента з'являється згинальний момент  $M_{Nx} = N \cdot f_{nx}$ . Цей додатковий момент не довантажує, як у прямолінійному елементі, а, навпаки, розвантажує момент  $M_{qx}$ . Розрахунковий момент дорівнює

$$M_{розр} = M_q - N \cdot f_n \quad (3)$$

У прямолінійних і криволінійних елементах при стиску зі згином відбуваються різні фізичні явища. Для криволінійних стиснуто-згинальних елементів немає підстав застосовувати теорію крайових напружень проф. К. С. Заврієва. В цих елементах крайові напруження треба знаходити по формулі (3). В учбово-методичній літературі зустрічаються різні варіанти формули (3) з коефіцієнтом  $\xi$ , але вони не адекватні роботі криволінійних стиснуто-згинальних елементів.

Криволінійність елементів викликає появу в них радіальних напружень, напрямком яких залежить від розрахункового згинального моменту. Згинальний момент залежно від розрахункових схем панелей верхнього пояса (рис. 3) може бути спрямований назустріч кривизні (рис. 6, схема а) й по напрямку кривизни (рис. 6, схема б).

У першому випадку виникають радіальні напруження розтягу впоперек волокон деревини; у другому – стиску впоперек волокон. Особливо небезпечні напруження  $\sigma_{r,p.90}$ , опір деревини яким дуже слабкий.

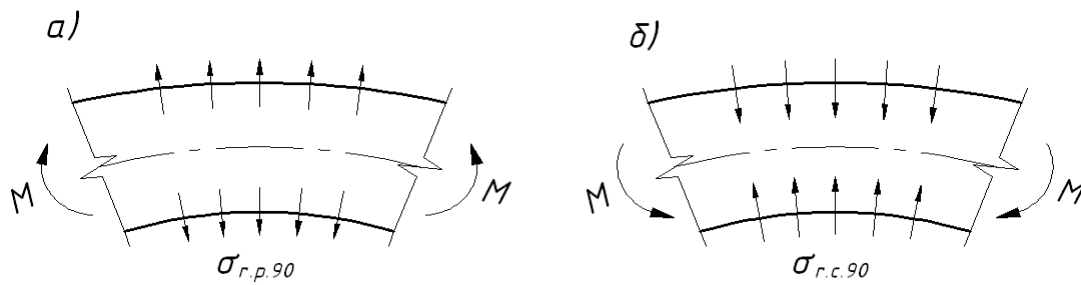


Рис. 6. Радіальні напруження в криволінійному елементі

Для забезпечення міцності панелей верхнього пояса недостатньо виконати перевірку радіальних напружень по формулі (21) СНиП II-25-80, як це рекомендується в навчально-методичній літературі, наприклад, в [6]. Варто врахувати сумісність дій різних напружень: від поздовжньої сили  $\sigma_c$ , згинального моменту  $\sigma_{32}$ , радіальних  $\sigma_{r,90}$  відповідно до нової концепції проектування конструкцій із клеєної деревини [7].

### Література:

1. Кліменко В. З. Конструкції з клеєної деревини. Світовий досвід // «Промислове будівництво та інженерні споруди» № 1 – 2009. – С. 39-43.
2. Кліменко В. З. Ефективний конструкційний матеріал – клеєна деревина // «Будівництво України» № 9-10 – 2009. – С. 16-20.
3. Кліменко В. З. Будівельна біоніка. Закони розвитку технічних систем. Будівельні конструкції: навчальний посібник – К.: ТОВ «Видавництво «Сталь» 2010. – 299 с.
4. Конструкции из дерева и пластмасс: Учебник для вузов. Под ред. Г. Г. Карлсена и Ю. В. Слищкоухова, 5-е изд., – М.: Стройиздат, 1986. – 543 с.
5. Кліменко В. З. Конструкції із дерева і пластмас: Підручник. – К.: Вища школа, 2000. – 304 с.
6. Кліменко В. З. Проектування дерев'яних конструкцій: навчальний посібник. – К.: ІЗМН, 1998. – 432 с.
7. Проектирование современных конструкций из клееной древесины на принципах новой концепции. Научная публикация. Клименко В. З., Найчук А. Я., Фурсов В. В., Михайловский Д. В. – К.: Издательство «Сталь», 2010. – 24 с.

### Аннотация.

В статье рассмотрена работа сжато-изгибаемых панелей верхнего пояса сегментных ферм. Выполнено сравнение расчета криволинейных и прямолинейных элементов.

### Abstract.

The article describes the work of compressed-bent panels of the upper belt segment girders. The comparison of calculation curvilinear and rectilinear elements was made.