

Сіянов О.І., к.т.н., доцент (Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця)

ВПЛИВ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ФЕРМ НА РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНЬ В ЕЛЕМЕНТАХ МОДЕЛІ МЕТАЛЕВОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО СТЕРЖНЕВОГО ПОКРИТТЯ

За результатами проведених випробувань встановлений вплив горизонтальних ферм на розподіл напружень в елементах моделі металевого циліндричного стержневого покриття для можливих схем розташування навантаження на поверхні. Визначені ті ж самі небезпечні зони концентрації напружень в елементах, що і в моделі без підкріплень. Встановлене незначне розвантаження покриття.

Ідея використання горизонтальних ферм в металевих циліндричних стержневих системах не нова. Так, наприклад, в літературі [1] розглянуто два можливих варіанта введення цих ферм, один з яких передбачає влаштування їх в середину, а другий – назовні (рис. 1). Втім інформації про те, в яких випадках без них не можна обійтись та чи взагалі доцільно їх влаштовувати нажаль немає. Очевидно, що відповіді на ці та інші питання можна буде шляхом проведення ґрунтовних теоретичних та експериментальних досліджень.

В даній статті, продовжуючи тематику, започатковану в [2], зупинимось на фізичному експерименті металевого циліндричного стержневого покриття.

Раніше [3] вже була досліджена поведінка такої конструкції на моделі в залежності від можливих схем прикладання навантажень на поверхні. За результатами проведених випробувань встановлені ділянки, в яких спостерігались найбільші напруження в елементах. Зроблено висновок про обов'язкове підкріплення покриття.

Виходячи з цього в попередній роботі [4] розпочато комплекс досліджень моделі покриття з елементами підкріплення. Зокрема запропоновано введення високоміцних затяжок, що дозволило зменшити місця концентрації напружень в елементах та істотно розвантажити модель покриття. Але такий варіант підкріплення потребує прийняття до даткових заходів, які дозволять уникнути провисання затяжок.

Тому, як наслідок, поставлено задачу перевірити ще один, можливо альтернативний, варіант підкріплення, який передбачає введення горизонтальних ферм до складу покриття.

У зв'язку з цим прийнято рішення розробити і реалізувати порядок дій щодо випробування моделі для можливих випадків розташування нава-

нтаження на поверхні, визначити вплив горизонтальних ферм на характер роботи покриття та встановити місця зосередження найбільш напружених елементів.

Модель (рис. 2), яка раніше випробовувалась [2–4], передбачала введення двох горизонтальних ферм, кожна з яких встановлювалась у відповідну припорну зону покриття уздовж твірної циліндричної поверхні. Жорстке приєднання такого варіанта підкріплення до моделі покриття здійснювалось за допомогою косинок з листового металу товщиною 4 мм і сталевих підвісок з арматури діаметром 6 мм. Для спрощення виготовлення, матеріал і переріз елементів кожної з горизонтальних ферм та моделі покриття приймалися однаковими (С245, $d \times t = 18 \times 3$ мм).

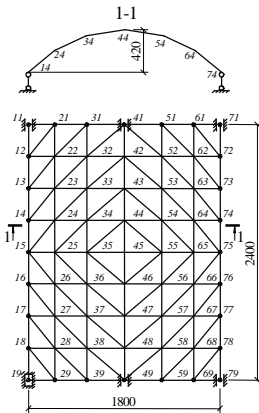


Рис. 1. Схема моделі покриття

Базою для кріплення просторової конструкції була спеціально виготовлена опорна стальна рама висотою 1,2 м (рис. 3). Це забезпечувало простий процес прикладання і зняття навантаження знизу.

Оскільки модель покриття була виготовлена із стержнів, то навантаження прикладалося у вузлах, причому як повне по всій поверхні, так і одностороннє (зліва і справа). Зосереджене вузлове навантаження створювалось шляхом використання цеглин, які розміщувались в підвісних кошиках із сталевих прутків діаметром 5 мм. Такий спосіб забезпечував поетапне (по п'ять етапів) прикладання навантаження, що, в свою чергу, дало можливість слідкувати за характером роботи моделі під час випробувань. Кожний етап складав 180–220 Н на вузол з поетапною витримкою по 15 хвилин. Максимальне вузлове навантаження становило 1000 Н.

Вимірювання відносних деформацій здійснювалось за допомогою тензOMETричних датчиків опору ПКБ-10-200 з базою 10 мм. Вони кріпились до стержнів моделі з обох боків під кутом 90^0 . Перевірочні датчики наклеювались з чотирьох боків. Показання тензодатчиків визначались за допомогою вимірювача деформацій цифрового (ВДЦ-1) та цифрового тензOMETричного моста (ЦТМ-5) (рис. 4).

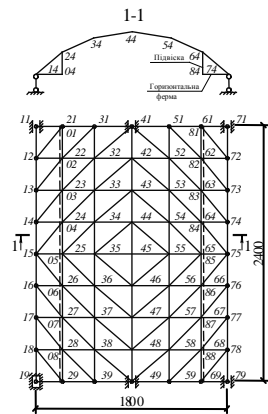


Рис. 2. Схема моделі покриття з горизонтальними фермами

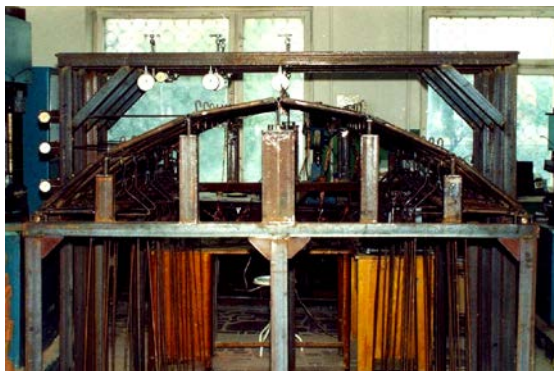


Рис. 3. Експериментальна установка моделі покриття з горизонтальними фермами



Рис. 4. Прилади для вимірювання відносних деформацій

Дослідження проводились в спеціально відведеному приміщенні лабораторії ефективних будівельних конструкцій кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького державного технічного університету. Час, який був вибраний для експерименту, забезпечив нормальну температуру і вологість повітря.

Випробування моделі з горизонтальними фермами показали, що незалежно від схеми прикладання експериментального навантаження, напруження в елементах розподілялись нерівномірно.

Результати досліджень дозволили порівняти закономірності роботи невідкритого покриття [2] і покриття, підкріпленого затяжками [4] та горизонтальними фермами.

Оцінюючи особливості роботи двох систем під навантаженням, встановлено, що використання горизонтальних ферм істотно не вплинуло на розподіл напружень в елементах моделі порівняно з покриттям без підкріплюючих елементів.

На рис. 5 наведені графіки, які ілюструють експериментальні значення напружень в елементах моделі з горизонтальними фермами при повному (рис. 6) і однобічному (рис. 7) прикладанні навантажень.

В поясах максимальні напруження різних знаків (43 і -41 Н/мм²) спостерігались в середній зоні, мінімальні (2 і -1 Н/мм²) – в першій чверті покриття (рис. 5, а), які порівняно із системою без підкріплень менші відповідно в $1,02$ і $1,2$ та $5,2$ і $1,3$ рази. Причому крайній елемент нижнього пояса верхньої граневої ферми (навантаження справа) і крайній елемент верхнього пояса верхньої граневої ферми (навантаження по всій поверхні) порівняно з непідкріпленим покриттям змінили свій знак на протилежний і стали працювати на розтяг. Проте різниця напружень у нижніх поясах складала 4 – 67% , в ділянці гребеня – 14 – 33% .

Напруження в стояках моделі з горизонтальними фермами, порівняно із системою, не підкріпленою зовсім, свого знаку не змінили. Максимальне напруження (-36 Н/мм²) було відмічено в крайньому стояку першої граневої ферми, мінімальне (-3 Н/мм²) – в середньому стояку (рис. 5, б), які порівняно із системою без підкріплень менші відповідно в $1,1$ і $1,5$ рази. При цьому напруження в стояках першої граневої ферми відрізнялись в межах 13 – 69% , в стояках інших граневих ферм різниця складала 6 – 25% .

Як і в стояках, напруження в розкосах моделі, підкріпленій горизонтальними фермами порівняно із системою без додаткових елементів, свого знаку не змінили. Максимальне значення (37 Н/мм²) було зафіксовано в крайньому розкосі першої граневої ферми, мінімальне (2 Н/мм²) – в середньому розкосі в ділянці гребеня (рис. 5, в), які порівняно із системою без підкріплень менші відповідно в $1,1$ і $2,1$ рази. Відмінність напружень в розкосах усіх граневих ферм складала 5 – 69% .

Відхилення максимальних напружень в поясах, стояках і розкосах після введення горизонтальних ферм при повному і однобічному прикладанні навантаження знаходились відповідно в межах 22 – 31 , 11 і 28% .

В елементах горизонтальних ферм напруження (рис. 8) розподілялись таким чином.

В поясах, які працювали на розтяг, найбільші напруження спостерігались в середній зоні. Максимальне значення (43 Н/мм²) було відмічено в середньому елементі нижнього пояса першої граневої ферми, мінімальне (1 Н/мм²) – в другому елементі нижнього пояса горизонтальної ферми (у першому елементі зафіксовано нульове значення) (рис. 8, а). Різниця напружень в поясах була істотною і коливалась в межах 15 – 66% .

Стояки працювали на стиск. Максимальне напруження (-3 Н/мм²) було зафіксовано в крайньому стояку горизонтальної ферми, мінімальне (1 Н/мм²) – в середньому стояку (рис. 8, б). Відмінність напружень в стояках становила 13 – 76% .

— повне завантаження; -- завантаження зліва; -.- завантаження справа

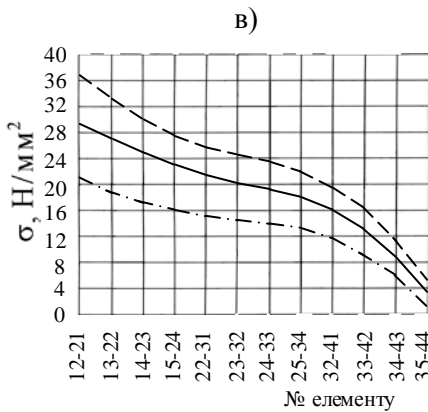
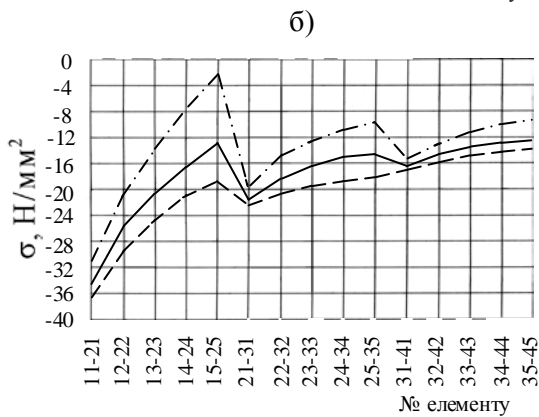
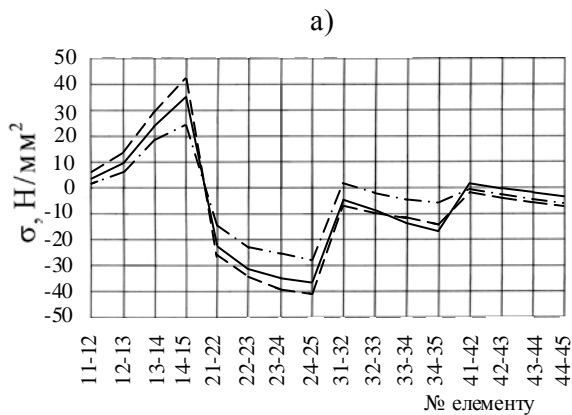


Рис. 5. Розподіл напружень в елементах моделі покриття з горизонтальними фермами: а) поясах; б) стояках; в) розкосах



Рис. 6. Повне прикладання навантаження до моделі покриття з горизонтальними фермами



а)

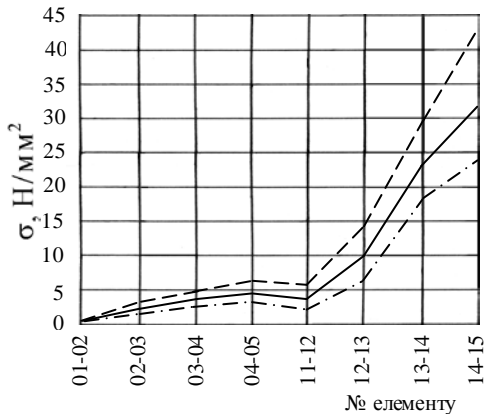


б)

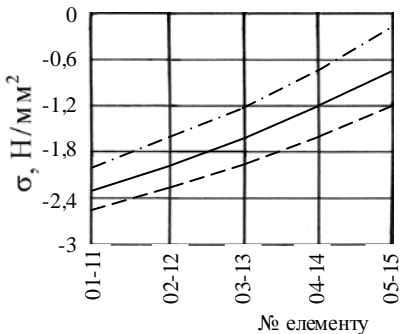
Рис. 7. Однобічне прикладання навантаження до моделі покриття з горизонтальними фермами:
а) зліва; б) справа

— повне завантаження; -- завантаження зліва; -.- завантаження справа

а)



б)



в)

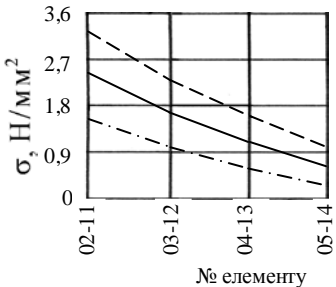


Рис. 8. Розподіл напружень в елементах горизонтальних ферм: а) поясах; б) стояках; в) розкосах

Розкоси працювали на розтяг. Максимальне напруження (3 Н/мм^2) було відмічено в крайньому розкосі горизонтальної ферми, мінімальне (1 Н/мм^2) – в середньому розкосі (рис. 8, в). Різниця напружень в розкосах коливалась в межах 29–61%.

Відхилення максимальних напружень в поясах, стояках і розкосах горизонтальних ферм при повному і однобічному прикладанні навантаження склали відповідно 25, 24 і 36%.

Тож, як бачимо, проведені випробування свідчать про істотний розкид значень напружень в елементах. Виявлено, що, так само, як і в моделі без підкріплень одні елементи майже не працюють, інші – перевантажені. Зафіксована невелика різниця розподілу напружень в елементах порівняно з невідкріпленою системою. Отримане незначне розвантаження покриття.

Висновки.

Проведені експериментальні випробування дозволили встановити вплив горизонтальних ферм на розподіл напружень в елементах моделі металевого циліндричного стержневого покриття для можливих схем розташування навантаження на поверхні.

Виявлені схожі тенденції розподілу напружень в елементах підкріпленої і невідкріпленої моделі.

Незважаючи на введення горизонтальних ферм, модель покриття залишилась найбільш уразливою від дії несиметричного навантаження. Розподіл напружень в елементах моделі з горизонтальними фермами для зазначених схем прикладання навантаження істотних змін не зазнав. Визначені ті ж самі небезпечні зони концентрації напружень в елементах, що і в моделі без підкріплень при повному і однобічному прикладанні навантаження. Зафіксована також схожа картина нерівномірного розподілу та значень напружень в елементах моделі для кожної схеми роботи покриття. В ділянці гребеня, порівняно з іншими зонами, напруження в елементах були незначними. Опорний пояс нижніх граней покриття весь працював на розтяг, проте інші пояси, за винятком двох елементів при повному і правосторонньому прикладанні навантаження, працювали на стиск. Стояки і розкоси свого знаку не змінили, оскільки працювали відповідно на стиск і на розтяг. Схожими були й закономірності роботи горизонтальних ферм.

У підсумку зазначимо, що для даної моделі такий варіант підкріплення для запропонованих схем прикладання навантаження не справив істотного впливу на розподіл напружень по поверхні. Однак за іншою геометрією конструкції покриття можливо горизонтальні ферми виявляться найбільш раціональними. Тож потрібно досліджувати кожний конкретний випадок окремо.

1. Попов И.Г. Цилиндрические стержневые системы.–Л.; М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх-ре, 1952.–112 с.
2. Сіянов О.І. Закономірності розподілу напружень в елементах моделі металевого циліндричного стержневого покриття // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць.–Рівне: НУВГП, 2006.–Вип. 14.–С. 327–332.
3. Сіянов О.І. Металеві одношарові циліндричні стержневі покриття: Автореф. дис... канд. техн. наук.–Київ: Вид-во “Сталь”, 2002.–19 с.
4. Сіянов О.І. Вплив зтяжок на розподіл напружень в елементах моделі металевого циліндричного стержневого покриття // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць.–Рівне: НУВГП, 2007.–Вип. 15.–С. 238–245.