

УДК 691.328.1:620.177.21(045)

В.М. Першаков, канд. техн. наук, проф.
А.О. Білик, інж.**ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПОКРІВЛІ ПАСАЖИРСЬКОГО АЕРОВОКЗАЛУ**

Розглянуто результати дослідження несучих будівельних конструкцій покрівлі, а саме оболонки та висячих вантових конструкцій. Виконано порівняльний аналіз двох видів покриттів (висячого вантового та оболонки). Висвітлено недоліки та переваги цих конструкцій, особливості їх застосування для будівель аеропортів.

The article is devoted to the development of effective bearing building constructions: shells and suspending constructions. Basing on comparison analysis of two kinds of roof constructions (suspended constructions and shells) it is found the advantages and disadvantages of such constructions, and also, it is pointed out the peculiarities of its implementation for airport buildings.

Постановка проблеми

За останні декілька років в Україні спостерігається зростання валового внутрішнього продукту, забезпечення зайнятості і соціального захисту населення як на рівні регіону, так і на загальнодержавному рівні.

Результуючим чинником таких позитивних напрямів стало збільшення надходжень інвестицій у найперспективніші економічні сегменти, ключовим з яких є повітряний транспорт.

У зв'язку з інтенсивними кроками формування і розвитку середнього класу, збільшенням іноземних інвестицій, поживаленням бізнесу в цілому виникає необхідність у будівництві нових та реконструкції вже існуючих аеропортів регіонального та міжнародного значення для забезпечення зростаючих потреб швидкого та якісного перевезення пасажирів.

Стратегія подальшого розвитку аеропортової мережі України спрямована на реконструкцію існуючих та будівництво нових термінальних комплексів для передпольотного та післяпольотного обслуговування пасажирів.

Нові стандарти обслуговування пасажирів висувають нові умови з проектування та будівництва аеропортів, які забезпечують комфортні умови для пасажирів під час перебування в приміщенні аеровокзалу, а також підкреслюють унікальність споруди та її архітектурну виразність.

Натепер надзвичайно актуальним є аналіз та розроблення ефективних несучих будівельних конструкцій на міцність, стійкість та жорсткість.

Досягнення зазначеної мети здійснюється послідовним рішенням таких завдань:

- розробкою і обґрунтуванням наукових підходів для вирішення завдання, пов'язаного зі знаходженням прогинів під навантаженням;
- моделюванням процесу навантаження покриття за рахунок максимального снігового навантаження;

– розрахунком несучих конструкцій покриття на міцність та стійкість;

– проведенням аналізу різних видів покриттів на знаходження найбільш оптимального для цього виду конструкції.

Оболонки

У зв'язку з удосконаленням методів розрахунку та способів монтажу в будівництві все більше застосовують залізобетонні просторові конструкції покриттів типу оболонки.

Завдяки вигнутій чи багатогранній формі оболонки мають більшу несучу здатність, ніж плоскі конструкції тієї ж ваги. Все це найкращим чином відповідає сучасним тенденціям з полегшення конструкцій.

Великі можливості щодо вибору форми як засобу архітектурної виразності роблять особливо ефективним застосування оболонки у покриттях стадіонів, виставочних павільйонів, аеропортів.

Будівництво таких будівель зазвичай пов'язане з необхідністю перекриття великих прольотів без проміжних опор.

Аналіз вітчизняних та зарубіжних робіт із розрахунку залізобетонних оболонки показує, що лише деякі з авторів ураховують реальні характеристики залізобетону, наявність арматури, тріщиноутворення, повзучість та ін. Це складне завдання і досі не вирішене.

Найчастіше внутрішні зусилля та переміщення в оболонці розраховують, керуючись тим, що матеріал однорідний і працює пружно. Знаючи зусилля (M , N , Q), підбирають арматуру уже з урахуванням непружних властивостей залізобетону.

Одним з основних напрямів досліджень є:

- уточнення розрахункової схеми;
- урахування реальних крайових умов;
- аналіз впливу різних конструктивних особливостей.

Багато авторів розвивають і використовують в своїх роботах метод кінцевих елементів (МКЕ) і метод кінцевих різностей (МКР). Вони є найбільш універсальними, дозволяють урахувати різноманітність навантажень й крайових умов.

Не втратили свого значення й інші методи одинарних і подвійних тригонометричних рядів.

Варіаційні методи застосовують для розрахунку конструкцій зі специфічними крайовими умовами. Вони часто слугують еталоном для порівняння з результатами, отриманими методами МКЕ та МКР.

Основи сучасного методу розрахунку будівельних конструкцій оболонок розглянуті в роботах А.П. Морозова, О.В. Василенка, С.М. Веріжнікова, Б.А. Миронкова, В.М. Ольшака, А. Савчука, В.З. Власова [1; 2].

На відміну від площинних конструкцій, де огорджувальні елементи працюють в одному напрямку, а основні несучі покриття – в іншому, оболонки працюють в обох напрямках (рис. 1, 2).

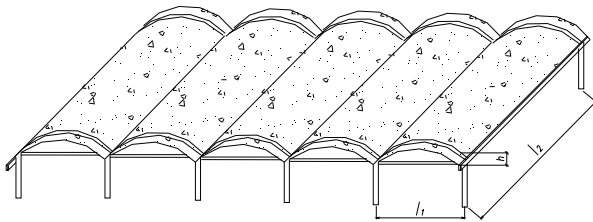


Рис. 1. Параметри ефективних довгих циліндричних оболонок

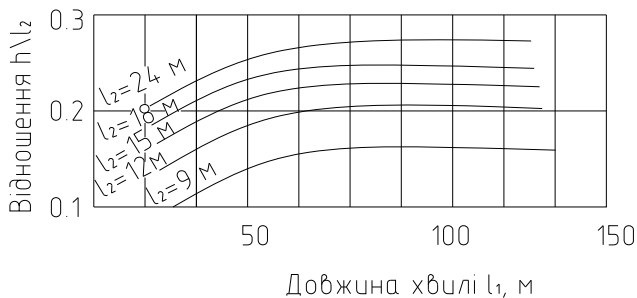


Рис. 2. Залежність довжини хвилі від відношення висоти та довжини оболонок

При цьому бетон оболонок використовується на сприйняття стискуючих напружень. Завдяки таким особливостям статичної роботи тонкостінні конструкції більш економічні, ніж площинні.

Вантові покриття

Вантові покриття – це одна з основних груп просторових покриттів. Для вантових покриттів характерна наявність як основних несучих елементів провисаючих вант, що утворюють вантові системи або сітки.

Ванти можуть бути гнучкими або твердими, тобто сприймати не тільки розтяжні зусилля, але і згинальні моменти.

Вантове покриття складається з трьох основних елементів:

- несучої конструкції;
- плити покриття;
- опорного контура.

Основи сучасного методу розрахунку будівельних конструкцій вантових покриттів розглянуто в роботах Н.М. Кірсанова, К. М. Дорожкіна [3].

Характерними зусиллями, що передаються на опорний контур, є горизонтально спрямовані зусилля розпору, які виникають за малих стріл провисання вант значних величин. Тому одним із важливих завдань проектування вантових покриттів є визначення оптимальної форми і конструктивного рішення опорного контура.

Для вантових покриттів характерним є їх порівняно велика деформативність, в основі якої лежить геометрична змінюваність гнучких ниток і тонких оболонок.

Завданням проектування є створення систем з обмеженими кінематичними і пружними переміщеннями.

За характером статичної роботи висячі конструкції поділяються на такі групи:

- вантові сітки;
- системи з вантів і балок;
- висячі оболонки;
- системи з твердих вантів;
- вантові ферми;
- комбіновані конструкції.

Вантові сітки створено з комбінацій окремих гнучких ниток, що утворюють сітчасті поверхні різної геометричної форми.

Вантові сітки, що утворюють поверхні негативної гауссової кривизни, мають здатність поперечної напруги.

У цьому випадку можливе підвищення їх твердості у разі дії нерівноважних навантажень.

У місцях перетинання вантів ставляться затискачі, що перешкоджають їх переміщенню.

Це дає можливість укладати на сітку покрівельні панелі фіксованих розмірів, тому що попередньо напружені вантові сітки мають необхідну твердість, а як покрівельне огороження можуть використовуватися легкі світлопрозорі плити з фібергласу.

Зазвичай такі плити не перетворюють вантове покриття в оболонку, здатну сприймати зрушувальні зусилля і згинальні моменти, тому всі експлуатаційні навантаження сприймаються вантовою сіткою.

Основні залежності розрахунку вантових сіток

Особливе значення має конфігурація самої поверхні сітки, в якій може існувати попередньо напружена система вант.

Якщо в сітці є ділянки з поверхнею нульової або позитивної гауссової кривизни, то при легких покриттях на таких ділянках можуть виявлятися значні деформації від вітрового або нерівноважного снігового навантаження, що приводять до резонансу покритті.

У цьому випадку система вант стає нестабілізованою і миттєво змінюваною.

Найчастіше на практиці використовуються сідлоподібні поверхні негативної гауссової кривизни, які можна описати з погляду їх геометричної побудови рухом кривої по іншій лінії, що має перемінну кривизну протилежного знака.

У разі рівномірного навантаження на покриття рівноважною формою вант є параболічна. У цьому випадку форма поверхні являє собою гіперболічний параболоїд.

Основними завданнями під час проектування висячих вантових покриттів є вибір способів зменшення додаткових провисів прогонних елементів від тимчасового навантаження й економічне рішення анкерних частин будівлі, на які будуть передаватися розпори.

Останнім часом висячі покриття поширені в будівництві нарівні з оболонками як для громадських, так і для промислових будівель.

Рівняння нерозривності вант, що утворюють сітку, такі:

$$(H_x - \bar{H}_x) \frac{l_x}{R_x} - u_n + u_n = \int_{-1/2}^{1/2} \frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial \bar{z}}{\partial x} dx + 0,5 \int_{-1/2}^{1/2} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)^2 dx,$$

$$(H_y - \bar{H}_y) \frac{l_y}{R_y} - v_n + v_n = \int_{-1/2}^{1/2} \frac{\partial \omega}{\partial y} \frac{\partial \bar{z}}{\partial y} dy + 0,5 \int_{-1/2}^{1/2} \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 dy,$$

де \bar{H}_x, \bar{H}_y – первісні зусилля у вантах, т;

l_x, l_y – прольоти вант, м;

R_x, R_y – твердість вант на розтягання, кг/см²;

$u_n + u_n$ – горизонтальні переміщення опорних точок вант уздовж осі x , см;

$v_n + v_n$ – горизонтальні переміщення опорних точок вант уздовж осі y , см.

Для наближеного оцінювання величин зусиль у вантах і опорному контурі за деяких видів навантажень, для яких лінії тиску збігаються з формою окремої ванти або сім'ї вант, можна застосувати метод сил.

При цьому як невідоме приймається зусилля контактної взаємодії між несучими і стабілізуючими вантами:

$$x = \frac{-\delta_{1p}}{\delta_{11}};$$

$$\delta_{11} = \int_{-1/2}^{1/2} \int_{-1/2}^{1/2} \frac{h_{x1} h_{x1}}{r_x} dx dy + \int_{-1/2}^{1/2} \int_{-1/2}^{1/2} \frac{h_{y1} h_{y1}}{r_y} dx dy,$$

де h_{x1}, h_{y1} – погонні зусилля в сітці відповідно в напрямках осей x і y від одиничного навантаження;

r_x, r_y – погонні жорсткості вант сітки на розтягання відповідно в напрямках осей x і y .

Якщо навантаження відповідає лінії тиску несучих вант, то

$$\delta_{1p} = \int_{-1/2}^{1/2} \int_{-1/2}^{1/2} \frac{h_{x1} h_{xp}}{r_x} dx dy.$$

Якщо навантаження відповідає лінії тиску стабілізуючих вант, то

$$\delta_{1p} = \int_{-1/2}^{1/2} \int_{-1/2}^{1/2} \frac{h_{y1} h_{yp}}{r_y} dx dy.$$

Погонні зусилля у вантовій сітці визначаються з виразів:

$$h_x = h_{x0} + h_{xp} + x h_{x1};$$

$$h_y = h_{y0} + h_{yp} + x h_{y1};$$

де h_{x0}, h_{y0} – погонні зусилля у вантовій сітці від контактної взаємодії між несучими і стабілізуючими вантами відповідно в напрямках осей x і y .

Якщо на сітку з вант, що має поверхню гіперболічного параболоїда, діє рівномірно розподілене навантаження q , то контактний тиск між вантами можна визначити за формулою

$$p = p_0 - \frac{q}{1 + \left(\frac{l_2 f_1}{l_1 f_2} \right)^2 \frac{F_1}{F_2} \frac{3l_2^2 + 16f_2^2 + 3EF_2 \delta l_2}{3l_1^2 + 16f_1^2 + 3EF_1 \delta l_1}}, \quad (1)$$

де p_0 – первісний контактний тиск між несучими і стабілізуючими вантами (до дії навантаження);

l_1, l_2 – прольоти несучих і стабілізуючих вант;

f_1, f_2 – стріли підйому несучих і стабілізуючих вант;

F_1, F_2 – площі поперечного перерізу несучих і стабілізуючих вант;

δ – піддатливість елементів опорного контура.

Очевидно, що доцільно зменшити значення стріл стабілізуючих вантів. При цьому розтягуючі зусилля в міру завантаження вантів змінюються незначно.

В окремому випадку, коли геометричні характеристики несучих і стабілізуючих вантів однакові, вираз (1) запишемо у вигляді

$$p = p_0 - 0,5q.$$

Знаючи контактний тиск, можна знайти розтягуючі зусилля в стабілізуючих вантах (за тиском p) і в несучих вантах (за тиском $q + p$).

У процесі завантаження розтягуюче зусилля в несучих вантах збільшуються, а в стабілізуючих зменшуються.

Опорний контур сідлоподібного покриття під навантаженням буде випробувати розпирні деформації. Зменшення деформативності опорного контура досягається постановою додаткових опорних елементів – колон або розтяжок.

Висновки

1. На основі огляду літературних джерел та порівняльного аналізу висячих вантових конструкцій та оболонок сформульовано завдання розрахунку, висвітлено переваги та недоліки кожного з

видів покриттів, наведено різні наукові підходи розрахунку висячих вантових конструкцій та оболонок.

2. Установлено найбільш економічне покриття у вигляді циліндричної оболонки залежно від її геометричних розмірів: довжини, висоти, радіуса кривизни.

3. На основі проведених досліджень установлено уточнення розрахункової схеми, врахування реальних крайових умов, дано аналіз впливу різних конструктивних особливостей.

4. Під час проектування висячих вантових покриттів основним є вибір способів зменшення додаткових провісів прогонних елементів від тимчасового навантаження.

Література

1. *Ольшак В., Савчук А.* Неупругое поведение оболочек / пер. с англ. И.П. Добровольского / под ред. Г.С. Шапиро. – М.: Мир, 1969. – 143 с.
2. *Захаров В.З.* Общая теория оболочек и ее приложения в технике. – 2-е изд. – М.: Стройиздат 1959. – 247 с.
3. *Кирсанов Н.М., Дорожкин К.М.* Висячие системы повышенной жесткости. – М.: Стройиздат, 1973. – 116 с.

Стаття надійшла до редакції 26.02.08.