

4. Пирадов К.А. Теоретические и экспериментальные основы механики разрушения бетона и железобетона / К.А. Пирадов. — Тбилиси: Изд-во «Энергия», 1998. - 355 с.
5. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (статика стержневых систем): учеб. пособие для студентов вузов / [Г.К. Клейн, Н.И. Леонтьев, М.Г. Ванющенко и др.]; под ред. Г.К. Клейна. — [4-е изд., переаб. и доп.]. — М.: Высш. школа, 1980. — 384 с.
6. Городецкий А.С. Приложение метода конечных элементов к физически нелинейным задачам строительной механики: автореф. дис. на соискание научн. степени. докт. техн. наук: 05.23.17 / А.С. Городецкий. — Киев, 1978. - 34 с.

УДК 614.072

СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ПРОСТОРОВОГО ВАНТОВОГО ПОКРИТТЯ НА ГНУЧКІЙ ОСНОВІ, УТВОРЕНИЙ ОДНІЄЮ БЕЗПЕРЕРВНОЮ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЮ НИТКОЮ

Паустовський С.В., Паустовський В.С., Зорабян К.А.

Постановка проблеми у загальному вигляді. В науково-технічній літературі і в будівельній практиці доволі широко й детально висвітлені варіанти конструктивних рішень висячих покриттів. Як відомо, висячі системи – це розпірні системи, і для сприйняття розпору (горизонтальної складової тяжіння тросів або оболонки) необхідна опорна конструкція, вартість якої, а також витрати праці і матеріаломісткість, можуть складати значну частину вартості і матеріаломісткості всього покриття. Ідея використання конструктивних комплексів, які оточують висяче покриття, для передачі на них ланцюгових зусиль від цього покриття, реалізовувалася неодноразово, але кожного разу приходилося підсилювати і пристосовувати ці конструкції до сприйняття зусиль від покриття і, а також постійно вживати заходи для стабілізації величини натягу кожної ванти.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

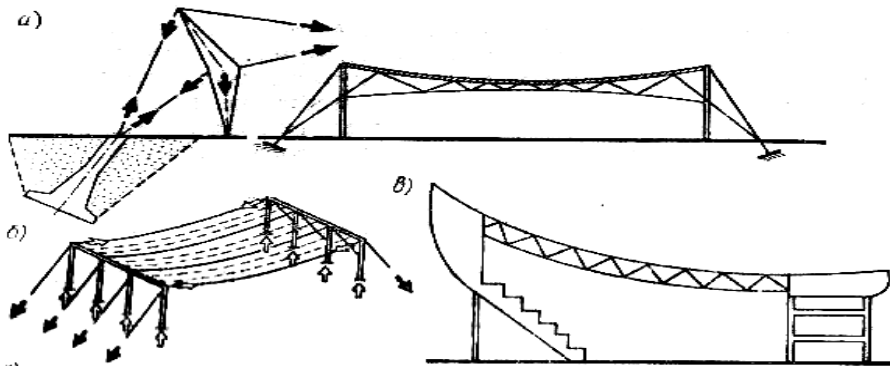


Рис.1 Деякі існуючі варіанти вантових покриттів.

В наведених на рис.1 варіантах вантових покриттів дуже складно вирішується проблема натягу вант і стабілізація його в конструкції.

Для всіх подібних конструкцій характерний недолік, притаманний опорній конструкції і подібному покриттю в цілому – невідгідна робота на косий згин довгого ригеля рами, навантаженого значними ланцюговими зусиллями всього покриття та фіксація натягу вант.

Формулювання цілей статті. В цій статті пропонується варіант покриття, який значно спрощує як виготовлення і монтаж вантового покриття, так і дозволяє досягти

більшого рівня стабілізації натягу вантів, а також спростити статичний розрахунок вантів і контурних елементів.

Виклад основного матеріалу. Несучий каркас запропонованого варіанту покриття являє собою конструкцію, що складається з системи багатопрогонних тришарнірних рам, які об'єднані в об'ємний каркас за допомогою трикутних арок із затяжками та з'єднувальних елементів у вигляді хрестовин. Арки та з'єднувальні елементи формують контурні елементи покриття у вигляді чотирипелюсткових гіперболічних параболоїдів («гіпарів») (див.рис.2). На контурні елементи натягується вантова сітка з однієї або двох безперервних і незалежних одна від одної попередньо напружених ниток (канату з полімерних матеріалів або сталевому тросу).

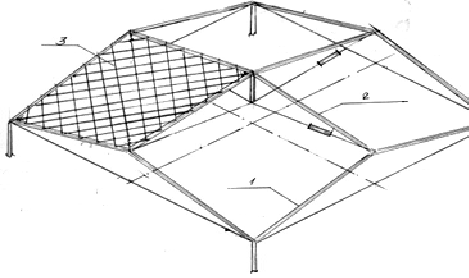


Рис. 2. Конструктивна схема чотирипелюсткового гіпару (одна секція): 1-арка; 2-хрестовина; 3-вантова сітка.

На вантову сітку укладається покрівля - полотнище або окремі листки з синтетичних матеріалів або з покрівельної сталі. Спосіб кріплення покрівлі до вантової сітки дозволяє поділити несучі та захисні функції між гнучкою міцною сіткою та накладеною і закріпленою до неї і ковзаючою по ній покрівлею, завдяки чому в елементах покрівлі не виникають зусилля розтягу та відповідні напруження і тому матеріал покрівлі не включається в основну роботу покриття і не підлягає статичному розрахунку разом з його елементами.

Новим в підході до статичного розрахунку елементів цього типу покриття є те, що система жорстких контурних елементів розраховується окремо від розрахунку гнучкої вантової сітки; завантаженнями цих елементів є натяг вантів та їх власна вага. Величина попереднього постійного натягу вантів визначається розмірами покриття в плані і величиною навантажень від снігу, вітру та власної ваги елементів покрівлі, а також монтажних і технологічних навантажень.

Для визначення величини попереднього натягу ниток сітки гнучкої основи покриття (вантів) підраховується максимальне зусилля, яке можливе на одну пелюстку гіпару від власної ваги, снігового навантаження та тиску від швидкісного напору вітру для кліматичного району будівництва. Завдяки тому, що сітка утворена однією або двома безперервними нитками, зусилля натягу буде за весь час експлуатації постійним і однаковим для всіх ниток основи.

Зважаючи на те, що вантова сітка утворюється однією ниткою постійного перерізу і на всіх ділянках матиме одне і те ж зусилля, для статичного розрахунку приймаємо найдовшу з них, тобто діагональну, довжина горизонтальної проекції якої з незначним припущенням визначається гіпотенузою прямокутного трикутника з катетами, що дорівнюють довжинам суміжних сторін пелюстки гіпару. Ширина вантажної площі на таку нитку дорівнює кроку точок, в яких встановлені гачки або блоки для перегинання нитки під кутом 90° з боку внутрішньої площини контурних елементів. Так при розмірах пелюстки в плані 12 x 12м довжина діагоналі складе 17.2м (див. рис.2).

Статичний розрахунок найдовшої нитки вантів ведеться за класичною теорією розрахунку висячих систем, зокрема в праці В.К.Качурина «Теорія висячих систем».

Статический расчет», в якій наводиться обґрунтування того, що в нитках з малими стрілками провисання ($f/L = 1/10 : 1/20$) зусилля в різних перерізах нитки мало відрізняються одне від одного.

Основні залежності розрахунку гнучких ниток.

Завдяки тому, що нитка гнучка і сприймати згинаючі моменти не може, то в будь-якому її перерізі, в тому числі й на опорах, зусилля можуть бути скеровані тільки вздовж нитки. Тому реакції опор **S** будуть скеровані по дотичній до нитки. Кожне з реактивних зусиль розкладають на дві складові: вертикальні **A** та **B** й горизонтальні **H** (рис.2).

З рівнянь статки:

$$\sum x = -H_A + H_B = 0, \text{ звідки } H_A = H_B = H \quad (1.1)$$

(В подальшому ця величина зветься «натягом» або «розпором».)

Сума моментів всіх сил відносно опори **B** дає:

$$\sum M^B = -A \cdot L + \sum M_{B0} = 0; \quad (1.2)$$

де $\sum M_{B0}$ - сума моментів відносно точки **B** всіх сил, що діють на нитку, за виключенням опорних реакцій.

З рівняння (1.2) одержимо:

$$A = \sum M_{B0} / L; \quad (1.3)$$

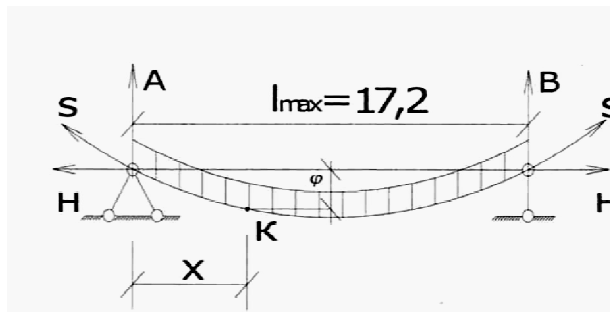


Рис. 3. Розрахункова схема вантової нитки

Для визначення натягу нитки запишемо значення моменту в точці **K** на відстані **x** від лівої опори:

$$\sum M^K - H \cdot \varphi_K = 0 \quad (1.4)$$

Де $\sum M^K$ - сума моментів всіх вертикальних сил (включаючи опорну реакцію), що діють по один бік від точки **K**; φ_K - ордината провисання нитки в точці **K**.

З рис. 2 видно, що така сума $\sum M^K$ являє собою згинаючий момент у відповідному перерізі простої балки, тому його ще називають «балочним» і позначають M_B , і рівняння (1.4) можна переписати у такому вигляді :

$$M_{BK} = H \cdot y_K \quad (1.5)$$

Звідки:

$$H = M_{BK} / y_K \quad (1.6)$$

Формула (1.6) дозволяє визначити натяг нитки в тому випадку, коли відома ордината **y** в будь-якому перерізі нитки. Ця формула справедлива для будь-якої точки по довжині нитки, тому з неї можна вивести такий загальний вираз:

$$y = M_B / H \quad (1.7)$$

Максимальний прогин посередині нитки або балки позначають літерою **f**.

При дії на нитку рівномірно розподіленого навантаження **q** балочний згинаючий момент в середині прогону:

$$M_B = q L^2 / 8 \quad (1.8)$$

Тобто, за формулою (1.6), якщо $y_K = f$.

$$H = q L^2 / 8 f \quad (1.9)$$

При малих стрілках прогину нитки ($f/L = 1/10 : 1/20$) для практичних розрахунків можна прийняти зусилля в нитці постійним і воно дорівнює:

$$H = S$$

До цього зусилля **S** слід додати величину зусилля попереднього напруження вантів, яке повинне складати не менше половини зусилля від зовнішнього навантаження.

Тобто, розрахункова величина зусилля для підбору перерізу вантів:

$$H_{ef} = 1,5 S$$

За величиною знайденого зусилля підбирається переріз нитки з відповідного матеріалу.

Розрахунок системи контурних елементів виконують на навантаження від натягу вантових ниток. Виходячи з умови однакового за величиною і напрямком тяжіння кожної нитки і рівномірного розміщення точок перегину ниток на внутрішній поверхні контурних елементів це навантаження можна вважати рівномірно розподіленим на всі контурні елементи (див. рис. 4).

Інтенсивність цього навантаження в площині пелюстки гіпару **q** визначається як геометрична сума тяжінь **S** несучої і стабілізуючої ниток сітки основи, помножена на крок точок перегину вантів **a** (див.рис.3), тобто:

$$q = 1,5T \times a = 1,5\sqrt{2s^2} \times a$$

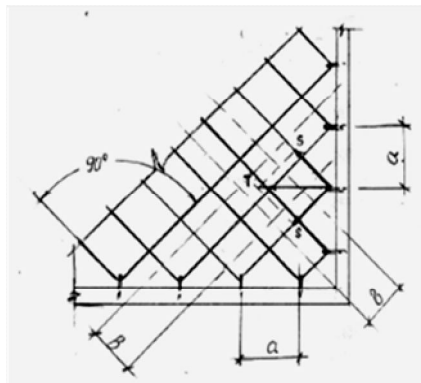


Рис. 4. До визначення навантаження на контурні елементи

S – тяжіння вантів; **T** – рівнодіюча тяжінь двох ниток; **a** – крок точок кріплення гачків або блоків на внутрішній площині контурних елементів, через які перегинаються ванти; **b** – ширина вантажної площі на ванту.

Статичний розрахунок контурних елементів виконується з допомогою комп'ютерної програми "LIRA" як статично невизначеної стержневої системи, на яку діє навантаження від натягу вантових ниток сітки основи та власної ваги системи контурних елементів.

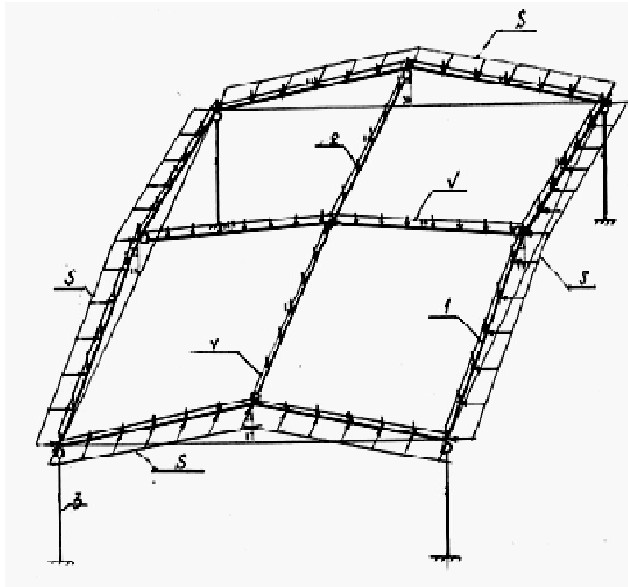


Рис. 5 Навантаження на контурні елементи гіпару від тяжіння вантової сітки: 1 – зовнішні контурні елементи; 2 – хрестовина; 3 – колони; s – горизонтальна складова тяжіння вантів; v – вертикальна складова тяжіння.

Нормальне рівномірно розподілене навантаження в площині пелюстки гіпару s визначається за наведеними вище формулами, а у вертикальній площині навантаження на контурні елементи v являє собою вертикальні реакції ниток основи від постійного (власна вага покриття) та короточасного (сніг, вітер) навантажень (див. рис.2). Ці реакції визначаються за формулою (1.3). Для одержання величини інтенсивності вертикального навантаження v реакцію A слід помножити на крок точок перегину вантів a . За одержаними в результаті комп'ютерного розрахунку зусиллями виконується конструктивний розрахунок контурних елементів як стержнів, що працюють на косий згин та крутіння.

Висновок.

Спосіб кріплення покрівлі до вантової сітки дозволяє поділити несучі та захисні функції між гнучкою міцною сіткою та накладеною і закріпленою до неї і ковзаючою по ній покрівлю, завдяки чому в елементах покрівлі не виникають зусилля розтягу та відповідні напруження і тому матеріал покрівлі не включається в основну роботу покриття і не підлягає статичному розрахунку разом з його елементами. Пропонується метод статичного розрахунку таких систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Беленя Е.И. и коллектив авторов. Металлические конструкции, спецкурс / Е.И. Беленя – М.: Стройиздат, 1991.
2. Дмитриев Л.Г. Вантовые покрытия / Л.Г. Дмитриев, А.В. Касилов. – К.: Будивельник, 1974.
3. Кирсанов Н.М. Альбом конструкций висячих покрытий / Н.М. Кирсанов. – М.: Высшая школа, 1965.
4. Кирсанов Н. М. Висячие и вантовые конструкции / Н. М. Кирсанов. – М.: Стройиздат, 1981.
5. Шимановский В.Н. Расчет висячих конструкций (нитей конечной жесткости) / В.Н. Шимановский, Ю.В. Смирнов, Р.Б. Харченко – К.: Будивельник, 1973.

6. Качурин В.К. Теория висячих систем. Статический расчёт / В.К. Качурин. – Ленинград – Москва.: ГСИ, 1962.
7. Vladimir G. Shuchov; 1853 -1935. Die Kunst der Sparsamen Konstruktion / Vladimir G. Shuchov - Deutsche Verlags – Anstalt, Stuttgart, 1990.

УДК 624.072.4

ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ И КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ

Пигуль О.В., Душин В.В., Севидов Д.Ф.

Постановка проблемы в общем виде. Прочность железобетонных стержневых элементов, подверженных действию продольных сил и крутящих моментов, зависит от многочисленных факторов:

- параметров внешнего воздействия (соотношения силовых факторов, знака продольной силы, величины эксцентриситета, длительности действия сил и моментов);
- формы и параметров поперечного сечения;
- вида, количественных показателей и соотношения интенсивностей продольного и поперечного армирования;
- прочностных и деформативных характеристик материалов,
- гибкости стержней.

Соотношение действующих на элементы продольных сил и крутящих моментов можно охарактеризовать величиной коэффициента:

$$\chi = \pm \frac{N_{act} Z_s}{T_{act}}, \quad (2.1)$$

который может изменяться от $\chi \rightarrow 0$ при чистом кручении до $\chi \rightarrow \infty$ при чистом сжатии.

В строительной практике чаще реализуются конструкции, в элементах которых при комбинациях $N_{act} + T_{act}$ превалирует продольная сила. Реже встречаются элементы когда в паре $N_{act} + T_{act}$ превалирует крутящий момент.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов в существующих исследованиях производился в основном с позиции теории упругости в стадиях их работы до момента образования трещин. Было выяснено, что значения моментов трещинообразования, вычисленных в представлении только об упругой работе материала, как правило, получались меньше опытных величин. Расхождение теоретических и опытных величин во многом зависело от формы поперечного сечения. Поэтому, для согласования опытных данных с вычисленными значениями в расчетные формулы были введены поправочные коэффициенты. Хотя с помощью их и была достигнута большая сходимость опытных и теоретических результатов, но физическая сущность явления осталась нераскрытой.

Результаты исследований таких нашли своё отражение в работах многих авторов как в нашей стране, так и за рубежом: В.Н. Байкова, П.М., А.А. Гвоздева, Э.Г. Елагина, Н.С. Жорняка, П. Зиа, Н.М. Лялина, Е. Мёрша, Р.А. Складневой и многих других.

Формулирование целей статьи. По названной причине оказалось целесообразным разработать расчетные модели оценки прочности железобетонных