

ЗАСТОСУВАННЯ ПОПЕРЕДНЬОГО НАПРУЖЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТА СТІЙКОСТІ СПОРУДИ

APPLICATION OF PRESTRESSING FOR INCREASING STIFFNESS AND SUSTAINABILITY OF STRUCTURES

Плахотний Г.Н., к.т.н., доц., (Одеська державна академія будівництва та архітектури), Чернєва О.С., к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Plahotny H.N., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture), Chernieva O.S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa)

В статті піднімаються питання застосування попереднього напруження для збільшення жорсткості та стійкості залізобетонних та металевих споруд. В якості прикладів використовується власний досвід автора при влаштуванні сегментних металевих ферм прольотом 84м із застосуванням попереднього напруження при будівництві ангару у м. Алмати, а також один з найяскравіших прикладів підсилення споруд попереднім напруженням – Останкінська телевежа.

The article analyzes the application of prestress to increase the stiffness and sustainability of reinforced concrete and metal structures using the following examples: the construction of the Ostankino TV tower in Moscow and the construction of the hangar in Almaty, using segmented metal trusses with a span of 84.0 m

The load on the circular foundation of the Ostankino television tower is transmitted through ten separate inclined supports. In this case, not only horizontal inclined forces arise, but also the forces caused by temperature effects from uneven solar heating of the tower's aboveground trunk. During the construction of the tower, vertical cracks appeared in the body of its foundation.

It was decided to strengthen the previously erected foundation by creating a prestressed reinforced concrete cage to apply compression on all ten supports. To increase reliability and durability, the cross-section of the foundation was increased in width by 1.5m and in height by 2.25m. Bundles of prestressed reinforcement were laid in the channels of all the 10 supports. Each bundle consists of 24 steel wires each having a diameter of 5mm.

To prevent the appearance of horizontal cracks in the reinforced concrete trunk, it was proposed to create preliminary compression on concrete with 180 prestress strands having a tensile force of 12 tons. As a result of the fire in the year 2000, 80% of the prestressed strands sagged on the brackets. Presently, the tower stands fully restored.

The second subject of research is the use of prestressed metal structures (segmented trusses). The trusses were initially arranged on a horizontal rack. This

structural design resulted in additional deformations of the individual elements. Upon application of the very first load while tightening one side of the truss, the entire truss buckled against the load and collapsed completely, as a result of the eccentricity.

To overcome this defect, the structural design was modified. While the manufacture of the subsequent trusses was also carried out in the horizontal position, the tightening tension was applied in the vertical position on either side of the trusses. In this case, the friction caused between the bundles and channels of the lower chord with connecting strips was avoided. In all, 24 trusses were constructed.

This demonstrates the fact that the use of prestressed high-strength metals in construction can increase the rigidity and sustainability of structures, while ensuring economic viability at the same time!

Ключові слова: підсилення, пучки попередньо напруженої арматури, телевежа, сегментна ферма.

Keywords: strengthening, bundles of prestressed reinforcement, TV tower, segmental truss.

Створення попереднього напруження завжди пов'язане з виникненням початкової деформації, зворотної по знаку деформації від навантаження. При дії експлуатаційного навантаження спочатку вибираються початкові деформації, а лише потім конструкції починають деформуватися, в основному, в своєму напрямку.

Застосування попереднього напруження в конструкціях будівель і споруд призводить до істотного зниження витрати матеріалу і до збільшення їх жорсткості і стійкості.

Метою даної статті є аналіз раціонального використання попередньо-напружених канатних тросів при зведенні Останкінської телевежі в м. Москва, а також застосування пучкової високоміцної арматури для зведення сегментних металевих ферм прольотом 84.0м при будівництві ангара в м Алматы.

Одним з найяскравіших прикладів в історії будівництва, коли застосування попереднього напруження не тільки врятувало конструкцію від подальшого деформування, а й дозволило створити споруду на той час рекордної висоти, безумовно, є Останкінська телевежа (H=540м), навантаження на кільцевий фундамент якої передається через десять окремих похилих опор. При цьому виникають не тільки горизонтальні похилі зусилля, але і зусилля, викликані температурними впливами від нерівномірного сонячного нагріву надземного стовбура вежі. При викривленні стовбура в його тілі виникають згинальні моменти. Внаслідок спільної дії перерахованих вище зусиль (величина яких в первинному проекті була недооцінена), в процесі будівництва вежі в тілі її фундаменту з'явилися вертикальні тріщини.

Після довгих дискусій було прийнято рішення посилити раніше зведений фундамент на природній основі шляхом створення попередньо

напруженої залізобетонної обойми з обтисненням всіх десяти граней. Для підвищення надійності і довговічності переріз фундаменту було збільшено в ширину на 1.5м і в висоту на 2.25м. В обоймі уширеної частини фундаменту для укладання пучків попередньо напруженої арматури були передбачені горизонтальні канали, виконані зі сталевих труб Ø70мм.

В канали всіх 10 граней були укладені пучки попередньо напруженої арматури. Кожен пучок утворений з 24 сталевих дротів Ø5мм з розрахунковим опором $R = 1700 \text{кгс/см}^2$. Пучки вкладалися в канали попарно. Всього по периметру фундаменту було закладено 1040 пучків. Їх кінці закріплювали в одному каналі з допомогою анкерів, для виготовлення яких використовувалися кольорові метали (цинк, свинець).

Натяг пучків проводився домкратами подвійної дії. Попереднє напруження кільцевої обойми створило в фундаменті початкове обтиснення силою 5930тс.

Раніше для усунення виниклої деформації був запропонований також варіант прибудови сталеві шпунтової стінки на глибину 20м, проте при цьому ґрунт основи фундаментів вежі виявився б в замкнутому циліндрі, що призвело б до великих осідань, так як коефіцієнт поперечного розширення γ ставав близьким до нуля, в зв'язку з цим, в процесі дискусій, цей варіант посилення був відхилений.

Для запобігання появи горизонтальних тріщин, в залізобетонному стовбурі було запропоновано створити попереднє обтиснення бетону. Таке обтиснення забезпечувалося 180 сталевими канатами з зусиллям натягу 12тс. Напружувані канатні елементи були запроєктовані відкритими і розташовані всередині стовбура вежі, що дозволяло повторно підтягувати, а при необхідності замінити канати.

Для закріплення верхніх кінців канатної арматури передбачені кільцеві консольні діафрагми. Канати після їх натягу кріпилися до стіни за допомогою закладних деталей, встановлених через кожні 7.0м по висоті. Для забезпечення спільної роботи з залізобетонною оболонкою стовбура, закладні деталі, виготовлені із сталеві штаби, замонолічували в стіні під час її бетонування. Кожен канат після натягу підтягували гвинтами на відстані 80-100мм від внутрішньої поверхні стовбура і закріплювали хомутами. На кільцевих консольних діафрагмах анкерили по 10-12 канатів, а з відм. + 270м по 20-30 канатів.

На самому верху залізобетонного стовбура (відм. +385.5м) розташована кільцева діафрагма, товщиною 1.5м, яка сприймає зусилля від 59 канатів, а також від сталевих антен, висотою 148м [1].

В результаті пожежі в серпні 2000 р тільки 20% канатів перебували в натягнутому стані і виконували свою функцію за проектом, а 80% канатів провиснули на фіксаторах, приєднаних до залізобетонної оболонки. Приблизно 10% цих канатів мали обрив дротів, що входять до її складу. В канатах, які перебували безпосередньо в зоні пожежі, захисне мастило

практично було відсутнє, а самі вони подальшій експлуатації не підлягали. На даний момент стан вежі повністю відновлено [2].

Автор статті безпосередньо брав участь при влаштуванні сегментних металевих ферм прольотом 84м з застосуванням попереднього напруження при будівництві ангара в м. Алмати.

Особливість попередньо напружених металевих конструкцій полягає в тому, що в процесі виготовлення і монтажу в напружених перетинах або стрижнях штучно створюються власні напруги, протилежні за знаком напруженням від розрахункового навантаження.

Існують в основному три види попереднього напруження. Перший вид попереднього напруження використовується в конструкціях, натяг елементів яких створюється натяжними пристроями. Економія матеріалу досягається в результаті застосування високоміцної сталі в напружуваному елементі.

Особливо важливою в таких конструкціях є можливість штучного регулювання зусиль у вигідному з точки зору зниження ваги напрямку. Інженер-конструктор, користуючись цим принципом, отримує можливість активно втручатися в гру сил з метою перерозподілу зусиль в окремих елементах.

Другий вид попереднього напруження полягає в видозміні епюр напруги. Це може бути зроблено попереднім вигином елемента і закріпленням його в такому положенні. Отримана епура моментів, разом зі зворотною за знаком епюрою від експлуатаційного навантаження, дозволяє отримати найбільш вигідні згинальні моменти і забезпечити зменшення перерізу елемента.

І останнє: можливо створювати попереднє напруження регулюванням епюр згинаючих моментів шляхом підйому або опускання опор, домагаючись оптимального обрису загальної епюри моментів. Цим же прийомом здавна користуються при проектуванні нерозрізних балок в різних спорудах.

Попереднє напруження може застосовуватися і в тих випадках, коли необхідно підвищити жорсткість конструкції або знизити величини знакозмінних зусиль з метою підвищення втомної міцності.

Об'єкти і методи дослідження. Виготовлення попередньо напружених ферм прольотом 84,0 м (24-сегментних ферм) виконувалося при будівництві ангара в м.Алмати (Казахстан) і м Конакрі (Гвінея) (рис. 1).

Попередньо напружена зтяжка розташована в нижньому поясі ферми, що має перетин з двох швелерів з розташованими всередині перетину чотирма пучками високоміцного дроту (по 24 дроти Ø5 мм в кожному пучку). Напруження зтяжки виконувалося домкратами подвійної дії з двох опор ферми. Прикладання навантаження проводилося у чотири етапи: I – 500 кН, II – 400 кН, III – 300 кН, IV – 200 кН. Загальне

навантаження на нижній пояс ферми – 1400 кН. На один пучок дроту (24 стрижня) загальне навантаження склало 350 кН. До одного дроту в пучку було прикладене навантаження 14,5 кН. Площа перетину одного дроту $A=0,2 \text{ см}^2$. Величина напруги на один дріт складала 125 кг/см^2 .



Рис. 1. Фотофіксація при будівництві ангара в м. Алмати (Казахстан)

В процесі прикладання навантаження в затяжці відбувається вертикальна деформація ферми.

Перша ферма була влаштована на горизонтальному стелажі. При горизонтальному положенні ферм окремі її елементи отримали додаткові деформації від власної дії. При прикладанні першого етапу навантаження до затяжки з одного боку ферми, сталося руйнування всієї ферми в результаті виниклого ексцентриситету.

Виготовлення наступних ферм проводилося в горизонтальному положенні, а натяг затяжки - у вертикальному положенні з двох сторін ферм. Виключалося тертя пучків і швелерів нижнього поясу з сполучними планками. Було зібрано 24 ферми.

Виготовлення затяжок. Дріт надходив на збиральний майданчик в бухтах, нарізка проводилася на правильно-відрізному верстаті.

У зв'язку з тим, що анкерування затяжки виконувалося анкером «колодка з пробкою» натяжним домкратом з двох сторін ферм, довжина заготовки дроту склала:

$$L \geq l + 2l_1 + 30 \text{ см}, \quad (1)$$

де L - загальна довжина заготовки;

l - відстань між упорами конструкції, що спричиняє натяг;

l_1 - відстань від торця опорної голівки домкрата до задньої сторони клинної обійми.

Пучки суцільного перетину компонувалися за допомогою тимчасових затискачів і скріплювалися скрутками з обпаленого дроту через 80 - 100 см.

Для вимірювання зусиль в стержнях застосовувалися динамометричні скоби.

Висновки

1. Застосування попередньо напружених елементів в конструкціях за допомогою горизонтальних обтискних канатів дає можливість:

- механізувати виготовлення канатних арматурних елементів;
- виключити нагрів металу каната до високих температур;
- підвищити продуктивність праці;
- спростити розміщення анкерів на опорних площинах залізобетонних діафрагм, або опор, так як габарити гільзоклинових анкерів виявляються в 2 рази менше, ніж габарити «залівних» анкерів;
- виключити витрати кольорових металів (цинку, свинцю).

2. Застосування попереднього напруження високоміцних металів в будівництві дозволяє збільшити жорсткість і стійкість споруд, при цьому забезпечує певний економічний ефект.

References

1. Nikitin N.V. Ostankinskaia televisionnaia bashnia: monografiia. Moskva: Izdatelstvo literatury po stroitelstvu, 1971. 117с.

2. Vedyakov I. I., Gukova M. I., Farfel M. I. Tehnicheskoe sostoianie konstruktсии ostankinskoj telebashni I meropriiatiia po privedeniiu ih v rabotosposobnoie sostoianiiie posle pojava v 2000 godu. *Stroitelstvo, materialovedeniie, mashinostroieniie*. Dnepropetrovsk, 2013. № 69. S.87-98.

Список використаної літератури

1. Никитин Н.В. Останкинская телевизионная башня: монография. Москва: Издательство литературы по строительству, 1971. 117с.

2. Ведяков И.И., Гукова М.И., Фарфель М.И. Техническое состояние конструкций Останкинской телебашни и мероприятия по приведению их в работоспособное состояние после пожара в 2000 году. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Днепропетровск, 2013. № 69. С.87-98.