

УДК 624.072.33(045)

В.М. Першаков, канд. техн. наук
О.О. Яковенко

ТЕХНОЛОГІЯ ЗВЕДЕННЯ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЇ СТАЛЕВОЇ РАМИ

Розглядається попередньо напружена сталева рама, як одна з найбільш ефективних і цікавих рішень у конструктивному плані і за способом зведення. Технологія зведення попередньо напружених сталевих рамних конструкцій знаходить своє застосування при будівництві унікальних великопрогонових споруд (сільськогосподарських ферм, заводських корпусів і авіаційних ангарів), де для великої площі потрібне ефективне покриття з периферійним спіранням.

Вступ. На кафедрі комп'ютерних технологій будівництва факультету аеропортів Інституту міського господарства під керівництвом завідувача кафедрою професора Верюжського Ю.В. і професора Першакова В.М. був проведений патентний пошук нових конструктивних вирішень каркасів будівель і технологій їх зведення по семи провідних країнах за останні двадцять років.

Попередньо напружена сталева рама [1] є одним з найбільш ефективних і цікавих рішень у конструктивному плані і за способом її зведення.

Конструкція рами складається з жорстких рамних секцій, шарнірно сполучених в один ланцюг: двох кінцевих і однієї середньої. Можливий варіант з декількома середніми секціями. Середня секція сталевोї рамної конструкції спирається на кінцеві секції і складається з:

- верхнього стиснутого поясу, що є в неробочому стані ланцюгом з прямих або частково зігнутих елементів;
- нижнього поясу, який складається з металевих переважно сталевих трубчастих секцій, що є напрямними для напружуваного каната;
- стійок і розкосів між верхнім і нижнім поясами.

Робота елементів рами при напруженні.

При зведенні сталевої конструкції використовується технологія попереднього напруження. При напруженні нижнього поясу сили діють і на верхній пояс. Кривизна нижнього поясу змінюється з вигином верхнього поясу при незмінній відстані між верхнім і нижнім поясами, тобто при незмінній довжині стійок і розкосів між цими поясами.

Кривизна верхнього і нижнього поясів залежить від розрахункової довжини кожного трубчастого сегменту нижнього поясу. Одним зменшенням довжини сегментів нижнього поясу можна досягти лише

відносно малого вигину верхнього поясу. Кожна трубчаста секція нижнього поясу сполучена за допомогою стійок або розкосів з верхнім поясом. Тому подальше напруження нижнього поясу викликають тільки стиснення його трубчастих секцій, і конструкція чинить опір подальшій зміні кривизни верхнього поясу. Вигин верхнього поясу може досягти критичного значення. Тому для забезпечення подальшого рівномірного вигину верхнього поясу його секції забезпечуються шарнірними з'єднаннями. Введенням шарнірних з'єднань можна зігнути верхній пояс у циркульну криву з відносно малим радіусом, створюючи конструктивні системи на зразок арок і порталних рам. Ступінь викривлення рамної конструкції залежить від її довжини і висоти.

Якщо напружуваний канат натягнути понад те, що потрібне для отримання проектно кривизни конструкції, то виросте напруга в стиснутих трубчастих секціях нижнього поясу разом з напругою в стійках і розкосах, що сполучають верхній і нижній пояси. Це явище необхідне для збільшення конструктивної міцності і жорсткості сталеві рамної конструкції і для її протидії землетрусу, вітровим і тимчасовим навантаженням.

Зазвичай сили попередньої напруги, що потрібні для опору вищеназваним навантаженням, в 0.1 - 100 або раз більше сил, що потрібні для надання конструкції необхідної кривизни.

При натягненні каната на деформації між сегментами нижнього поясу впливає зазор між напружуваним канатом і внутрішньою поверхнею трубчастих елементів. Цей зазор знаходиться в діапазоні від 3 мм до 100 мм і більше. Його величина залежить і від відношення між діаметром трубчастої секції і відстанню між стійками, і від необхідного ступеня вигину кожного елемента поясу.

Для зчеплення каната з трубою порожнина між канатом і внутрішньою стінкою трубчастої секції заливається цементуючим матеріалом. Це, як правило портландцемент, вода і хімічні добавки.

Кожна пара суміжних трубчастих секцій з'єднується ковним шарніром у вигляді патрубк. На обох кінцях цього патрубка є гофрована нарізка. Ширина області нарізки відповідає глибині, на яку патрубок входить у трубчасту секцію.

Місця перекриття патрубка трубчастою секцією заповнюються рідким в'язучим матеріалом і потрібні для того, щоб всі трубчасті секції нижнього поясу відповідали межі міцності на розрив.

Коли на сталеву рамну конструкцію діє зовнішнє навантаження, нижній пояс піддається стисненню, яке перевищує стиснення, викликане натягненням каната. Трубчасті секції нижнього поясу можуть стискуватися до критичного значення, яке залежить від межі міцності на розрив матеріалу трубчастих секцій і стикових з'єднань.

Технологія зведення сталевї рами.

Технологія збірки і встановлення попередньо напружених сталевих рамних конструкцій показана на рис. 1 - 13.

На рис. 1, 2 і 3 показана попередньо напружувана сталева рама на різних стадіях напруги:

1. На землі збирають середню секцію. Вона складається з верхнього поясу 4 і нижнього поясу 7. Нижній пояс 7 виконаний з трубчастих сталевих елементів. Обидва пояси зв'язані розкосами 5 і стійками 6. По трубчастих напрямних нижнього поясу 7 проходить натягуваний канат.

2. До кожного кінця середньої секції за допомогою шарнірів 2 і 9 приєднують по одній кінцевій секції 1 і 10, які в робочому положенні гратимуть роль опор напруженої сталевї рамної конструкції. На рис. 1 показана вся зібрана рамна конструкція, що лежить на землі в ненапруженому стані.

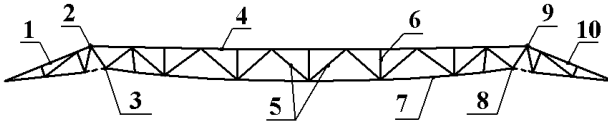


Рис. 1. Зібрана сталева рама до напруження:

1 - ліва кінцева секція; 2 - ліве шарнірне з'єднання; 3 - ліва точка фіксації натягнутого каната; 4 - верхній пояс середньої секції; 5 - розкіс середньої секції; 6 - стійка середньої секції; 7 - нижній пояс середньої секції; 8 - права точка фіксації натягнутого каната; 9 - праве шарнірне з'єднання; 10 - права кінцева секція

3. Канат, що проходить по трубчастих напрямних нижнього поясу 7, напружують, і його кінці фіксують в точках 3 і 8. Напруження каната приводить середню секцію до необхідної кривизни, показаної на рис. 2.

4. Канати, що проходять по трубчастих напрямних кінцевих секцій 2 і 8, закріплюють на середній секції 5 у точках 4 і 6.

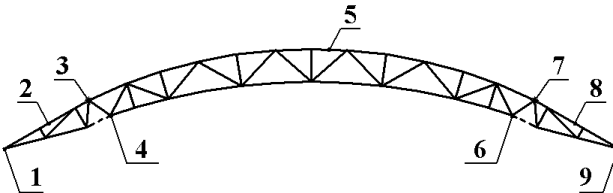


Рис. 2. Напруження каната середньої секції:

1 - ліва точка фіксації каната на кінцевій секції; 2 - ліва кінцева секція; 3 - ліве шарнірне з'єднання; 4 - ліва точка фіксації каната на середній секції; 5 - середня секція; 6 - права точка фіксації каната на середній секції; 7 - праве шарнірне з'єднання; 8 - права кінцева секція; 9 - права точка фіксації каната на кінцевій секції.

5. Одночасно або по черзі натягують канати кінцевих секцій 2 і 8, і фіксують їх у натягнутому стані в точках 1 і 9. Це призводить до того, що кінцеві секції 2 і 8 провертаються в шарнірних з'єднаннях 3 і 7 відносно середньої секції 5 і змикаються стикувальними вузлами з останньою. Подібний стан сталевій рамній конструкції показаний на рис. 3.

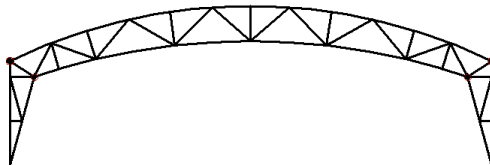


Рис. 3. Напружений стан сталевій рами

6. Всю попередньо напружену сталеву рамну конструкцію піднімають краном у вертикальне положення.

7. Сталеву рамну конструкцію встановлюють краном в проектне положення.

На рис. 4 показана попередньо напружувана сталеві рама в проектному положенні.

Вільні кінці напружених канатів кінцевих секцій слугують анкерами для закріплення сталевій рамній конструкції 2 у фундаментах 1 і 3 споруд, що перекриваються.

Існує можливість зводити конструкцію без використання кранів.

Для влаштування покриття паралельно встановлюють декілька вищезазначених конструкцій. Зв'язки між ними також можуть бути попередньо напружуваними конструкціями. Зібрана багаторамна конструкція покривається покрівельним матеріалом.

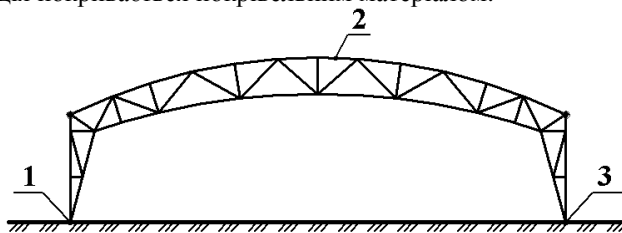


Рис. 4. Проектне положення сталевій рами:

1 - лівий фундамент; 2 - сталеві рама конструкція; 3 - правий фундамент.

Покрівельним матеріалом можуть служити листовий метал, клеєна фанера або асбофанера.

На рис. 5 показано застосування вище-зазначених рам для багатопрілітних будівель.

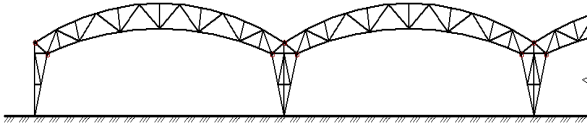


Рис. 5. Сталеві рамні конструкції у багатопролітній будівлі

Варіанти попередньо напружених сталевих рам.

Рис. 6, 7 і 8 відображають варіант сталеві рамної конструкції, в якій середня секція 3 і кінцеві секції 2 і 4 є фермами з паралельними поясами. На рис. 6 показана така конструкція в неробочому стані.

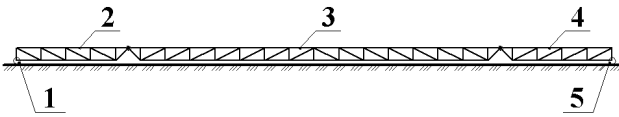


Рис. 6. Сталева рама, що складається з ферм з паралельними поясами, до напруження: 1 - лівий каток; 2 - ліва кінцева секція; 3 - середня секція; 4 - права кінцева секція; 5 - правий каток.

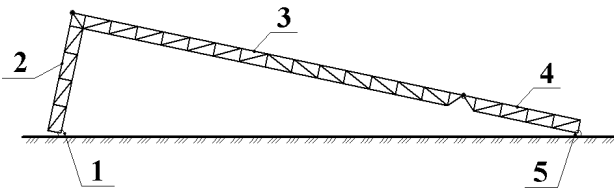


Рис. 7. Напруження сталеві рами (варіант з паралельними поясами): 1 - лівий каток; 2 - ліва кінцева секція; 3 - середня секція; 4 - права кінцева секція; 5 - правий каток.

Технологія зведення аналогічна вищенаведеним. Зведення можна виконувати за допомогою роликів котків 1 і 5, які розташовані у нижній частині кінцевих секцій 2 і 4 і котяться по відповідним напрямних, що знаходяться на поверхні майданчика монтажу. На рис. 7 і 8 показана сталеві рамна конструкція відповідно у напружуваному і проектному положеннях.

На рис. 9 показано використання сталевих рамних конструкцій для будівель з круглим контуром в плані. Рами розходяться радіусами з центральної точки.

На рис. 10 показано, як вищезазначені рами можуть використовуватися при їх взаємному перетині під прямим кутом.

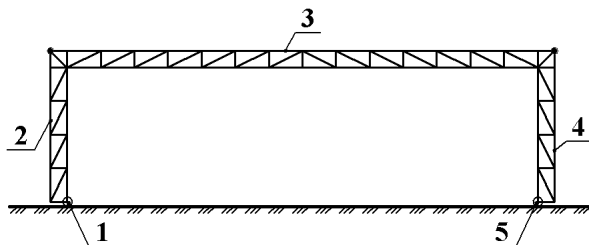


Рис. 8. Проектне положення сталеві рами (варіант з паралельними поясами):
1 - лівий каток; 2 - ліва кінцева секція; 3 - середня секція; 4 - права кінцева секція; 5 - правий каток.

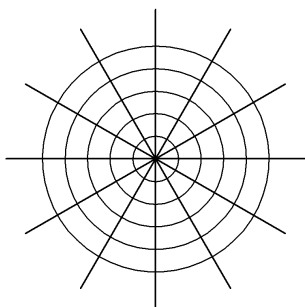


Рис. 9. Сталеві рами в будівлях з круглим контуром у плані

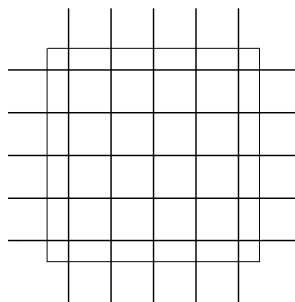


Рис. 10. Перетин сталевих рам під прямим кутом

Рис. 11, 12 і 13 ілюструють застосування сталеві рамної конструкції для великопролітних будівель. На рис. 11 показано, як збирають цю конструкцію, використовуючи тимчасові опори 3, 5, 8 і 11. Середня секція у цьому випадку є конструкцією, що складається з трьох окремих ферм: однієї центральної ферми 6 і двох крайніх ферм 4 і 9.

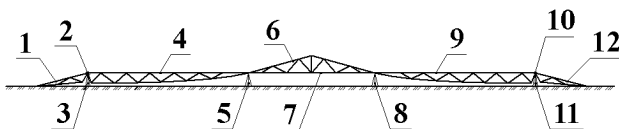


Рис. 11. Монтаж сталеві великопролітної рами:
1 - ліва опорна ферма; 2 - ліве шарнірне з'єднання; 3 - тимчасова опора; 4 - ліва крайня ферма середньої секції; 5 - тимчасова опора; 6 - центральна ферма середньої секції; 7 - натягуваний канат середньої секції; 8 - тимчасова опора; 9 - права крайня ферма середньої секції; 10 - праве шарнірне з'єднання; 11 - тимчасова опора; 12 - права опорна ферма.

До вільних кінців ферм 4 і 9 за допомогою шарнірних з'єднань 2 і 10 приєднуються опорні ферми відповідно 1 і 12. Один загальний натягуваний канат 7 проходить по трубчастих напрямних трьох ферм 4, 6 і 9.

Рис. 12 відображає стан конструкції після того, як натягуваний канат середньої секції вже напружено, а гідравлічний підйомний домкрат 5 із закріпленням на ньому підйомним канатом установили по осі центральної ферми 4.

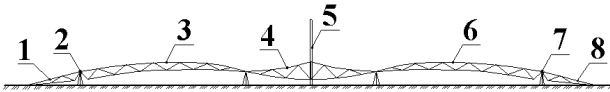


Рис. 12. Напруження сталеві великопролітної рами:

1 - ліва опорна ферма; 2 - ліве шарнірне з'єднання; 3 - ліва крайня ферма середньої секції; 4 - центральна ферма середньої секції; 5 - гідравлічний підйомний домкрат; 6 - права крайня ферма середньої секції; 7 - праве шарнірне з'єднання; 8 - права опорна ферма.

Канати, що проходять по трубчастих напрямних опорних ферм 1 і 8, закріплюють на двох крайніх фермах 3 і 6. Одночасно натягують канати опорних ферм 1 і 8, і фіксують їх в натягнутому стані. Це призводить до того, що опорні ферми 1 і 8 повертаються в шарнірних з'єднаннях 2 і 7 відносно середньої секції і зникаються з нею стиковальними вузлами, і сталеву раму конструкції переходить у вертикальне положення. Підйом центральної ферми 4 середньої секції проводиться за допомогою гідравлічного домкрата 5. Коли рама конструкції досягає положення, що відображене на рис. 13, по осі прольоту, що перекривається, ставиться колона 3, а тимчасові опори прибирають. Вільні кінці напружених канатів опорних ферм 2 і 4 слугують анкерами для закріплення сталеві рамної конструкції у фундаментах 1 і 5 споруди, що перекривається.

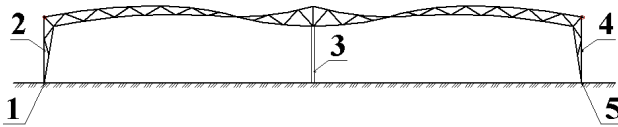


Рис. 13. Сталева великопролітна рама у проектному положенні:

1 - лівий фундамент; 2 - ліва опорна ферма; 3 - центральна колона; 4 - права опорна ферма; 5 - правий фундамент.

Відстань між крайніми опорними фермами 2 і 4 і центральною колоною 3 може доходити до 100 метрів.

Будівлі авіаційних ангарів повинні перш за все чинити опір вітровим навантаженням. Експериментальні дослідження показали, що рамними конструкціями при їх низькій будівлі із сталевими попередньо напруженими матеріаломісткості і мінімальних витратах на монтаж здатні протистояти силі тайфуну.

Висновки.

Дана технологія зведення попередньо напружених сталевих рамних конструкцій знаходить своє застосування при будівництві унікальних великопрогінних споруд (сільсько-господарських ферм, заводських корпусів і авіаційних ангарів), де для великої площі потрібне ефективне покриття, що периферійно спирається.

При створенні аналогічних рамних конструкцій для будівель з малими прольотами можна використовувати різні комбінації матеріалів. Нижній пояс може складатися із сталевих трубчастих секцій, а елементи верхнього поясу, стійкі і розкоси можуть бути дерев'яними.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент США 4,676,045; E04B1/24 - E04C3/38, E04B1/35E, E04C3/40; Попередньо напружена сталева рама / Елен Пітер (Гонконг); № US4676045; 1987-06-30

Отримано 16.08.09.

В.Н. Першаков, А.А. Яковенко

Технология возведения предварительно напряженной стальной рамы

Рассмотрена предварительно напряженная стальная рама как одно из наиболее эффективных и интересных решений в конструктивном плане и по способу ее возведения. Данная технология возведения предварительно напряженных стальных рамных конструкций находит свое применение при строительстве уникальных большепролетных сооружений (сельскохозяйственных ферм, заводских корпусов и авиационных ангаров), где для большой площади необходимо эффективное периферийно опирающееся покрытие.

V.N. Pershakov, O.O. Iakovenko

Technology of erection of post-tensioned steel frame

The article is examined post-tensioned frame as one of the most effective and interesting decisions in a structural plan and by the method of its erection. This technology of erection of post-tensioned steel frame constructions finds their use for covering of unique large-span buildings (agrarian farms, factory buildings and aviation hangars), where a large area needs effective peripherally supported coverage.