

УДК 624.023.87(088.8)

## **Управляемые конструкции пространственных покрытий из перекрестных систем Часть 2**

**Марутян А.С., к.т.н.**

Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске,  
Российская Федерация

**Анотація.** Наведено нове технічне рішення просторового покриття з перехресних систем з попереднім напруженням контурних ферм і перерозподілом їх реактивних (опорних) і прогонових моментів. Регулювання попереднього напруження поєднане з монтажем несучих конструкцій за методом підйому перекриттів і покриттів. Показана ефективність попереднього напруження за рахунок збільшення силової пари при відповідному розмірі стрижневих елементів із реверсивними пристроями і тарільчастими пружинами, а також трансформації їх із приопорних панелей нижніх поясів у підкоси контурних ферм або похилі гілки V-образних колон.

**Аннотация.** Приведено новое техническое решение пространственного покрытия из перекрестных систем с предварительным напряжением контурных ферм и перераспределением их реактивных (опорных) и пролетных моментов. Регулирование предварительного напряжения совмещено с монтажом несущих конструкций по методу подъема перекрытий и покрытий. Показана эффективность предварительного напряжения за счет увеличения силовой пары при соответствующем размере стержневых элементов с реверсивными устройствами и тарельчатыми пружинами, а также трансформации их из приопорных панелей нижних поясов в подкосы контурных ферм или наклонные ветви V-образных колонн.

**Abstract.** A new technical solution of spatial coverage made from cross-systems with pre-stressed contour trusses and reallocation of their jet (reference) and passing moments is presented. Pre-stressing regulation is combined with installation of supporting structures by means of lifting techniques for floors and coverings. Effectiveness of pre-stress by increasing the power couple with corresponding amount of pivot elements with reversing devices and disc springs is shown, as well as their transformation from relying panels of lower strakes in struts of contour trusses or sloping branches of V-shaped columns.

**Ключевые слова:** перекрестные системы, пространственные покрытия, предварительное напряжение, метод подъема перекрытий (покрытий).

Предлагаемое техническое решение относится к области строительства и может быть использовано в конструкциях покрытий зданий и сооружений. Наиболее близким к предлагаемому и принятым в качестве прототипа является пространственное покрытие, опертое по углам, преимущественно квадратного плана, содержащее контурные и расположенные внутри контура перекрестные несущие элементы в количестве не менее трех,

выполненные в виде вертикально или наклонно установленных равновысоких ферм. В местах пересечения одноименных поясов разноудаленных от контура внутренних перекрестных несущих элементов установлены прокладки (рис. 1), толщины которых составляют:

$$\Delta_1 = P_1\Delta_{11} + P_2\Delta_{12} + P_3\Delta_{13} + \dots + P_n\Delta_{1n}$$

$$\Delta_2 = P_1\Delta_{21} + P_2\Delta_{22} + P_3\Delta_{23} + \dots + P_n\Delta_{2n}$$

$$\Delta_3 = P_1\Delta_{31} + P_2\Delta_{32} + P_3\Delta_{33} + \dots + P_n\Delta_{3n}$$

.....

$$\Delta_n = P_1\Delta_{n1} + P_2\Delta_{n2} + P_3\Delta_{n3} + \dots + P_n\Delta_{nn}$$

где  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n$  – толщины прокладок соответственно в первом, втором, третьем и последующем пересечениях;  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  – лишние связи перекрестной системы;  $\Delta_{11}, \Delta_{12}, \Delta_{13}, \dots, \Delta_{1n}$  – перемещения от единичных сил соответственно от  $P_1=1$  в первом пересечении, от  $P_2=1$  в первом пересечении, от  $P_3=1$  в первом пересечении и т.д.;  $n$  – степень статической неопределенности.

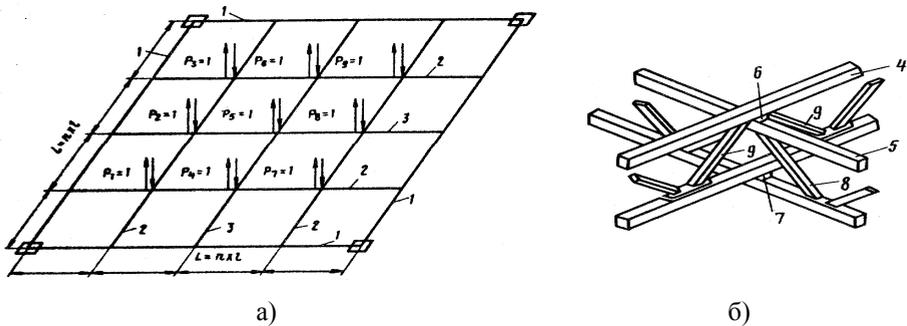


Рис. 1. Расчетная схема (а) и аксонометрия узла пересечения ферм (б) покрытия:

- 1 – контурные фермы; 2, 3 – фермы внутри контура; 4, 5 – одноименные (верхние, верхние; нижние, нижние) пояса в местах пересечения ферм 2 и 3;
- 6 – рабочие прокладки; 7 – конструктивные прокладки; 8, 9 – раскосы

Перекрестные фермы перемещают вертикально и в образовавшиеся зазоры между поясами устанавливают прокладки. В результате усилия в стержневых элементах ферм перераспределяются. При этом прокладки верхних поясов являются рабочими (предварительно напрягающими конструкцию), а прокладки нижних поясов – конструктивными (стыкующими съемные пояса) [1]. Итогом реализации такого решения

является выравнивание значений усилий поясных элементов перекрестных ферм. Однако недостаток приведенного пространственного покрытия из перекрестной системы заключается в значительной разнице усилий поясных элементов между внутренними и контурными фермами.

Техническим результатом предлагаемого решения является повышение степени унификации по сечению стержневых элементов перекрестной системы с уменьшением расхода конструкционного материала при достижении одинаковых значений поясных усилий внутренних и контурных ферм. Такой результат достигается за счет того, что в пространственном покрытии из перекрестной системы, опертом по углам, преимущественно квадратного плана, содержащем контурные и внутренние равновысокие фермы, стержневые элементы приопорных (так называемых «нулевых») панелей нижних поясов контурных ферм снабжены парными реверсивными устройствами из стяжных шпилек и тарельчатых пружин для регулирования предварительным напряжением опорных (карнизных) узлов с перераспределением реактивных (опорных) и пролетных моментов контурных несущих элементов перекрестной системы [2]. Значительно повысить эффективность предварительного напряжения можно за счет увеличения плеча силовой пары при соответствующем размере стержневых элементов с реверсивными устройствами и трансформации их из приопорных панелей нижних поясов в подкосы контурных ферм или наклонные ветви угловых V-образных колонн (рис. 2, 3, 4). Регулирование предварительным напряжением опорных узлов целесообразно совместить с монтажом несущих конструкций по методу подъема перекрытий (покрытий).

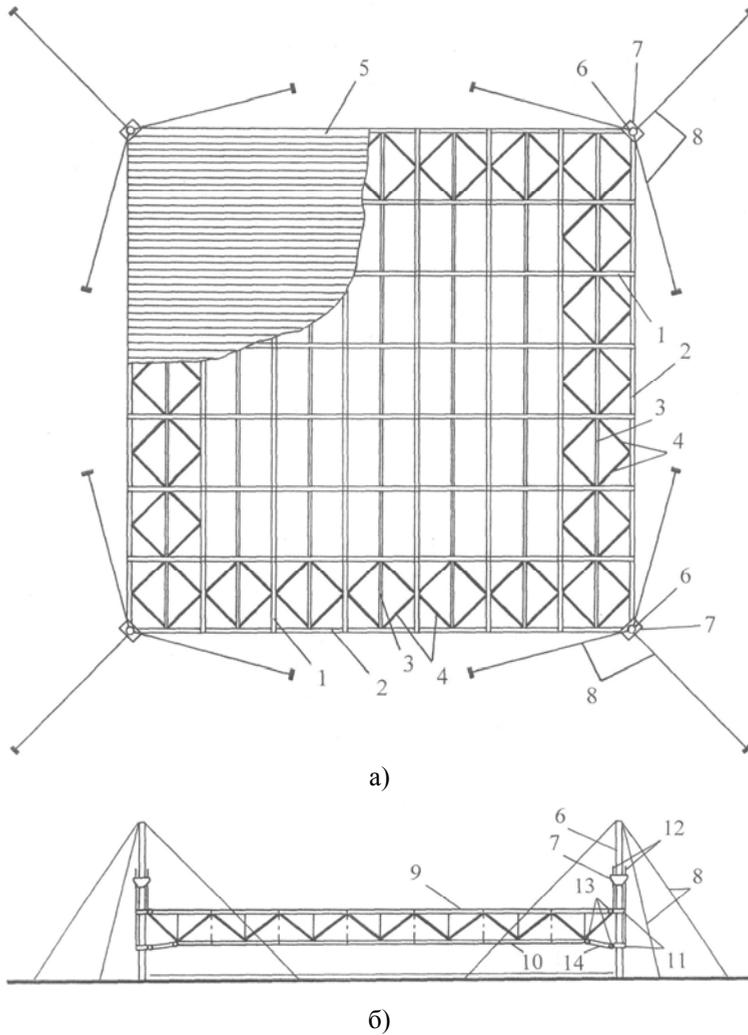


Рис. 2. Схемы пространственного покрытия из перекрестной системы в процессе монтажа по методу подъема: а – вид сверху; б – вид сбоку в начальной стадии подъема; 1 – внутренние фермы; 2 – контурные фермы; 3 – прогоны; 4 – приконтурные связи по нижним поясам ферм; 5 – профилированный настил; 6 – угловые колонны; 7 – подъемники; 8 – расчалки; 9 – верхний пояс контурных ферм; 10 – нижний пояс контурных ферм; 11 – парные обоймы; 12 – грузовые тяги; 13 – шарниры; 14 – стержневые элементы с парными реверсивными устройствами

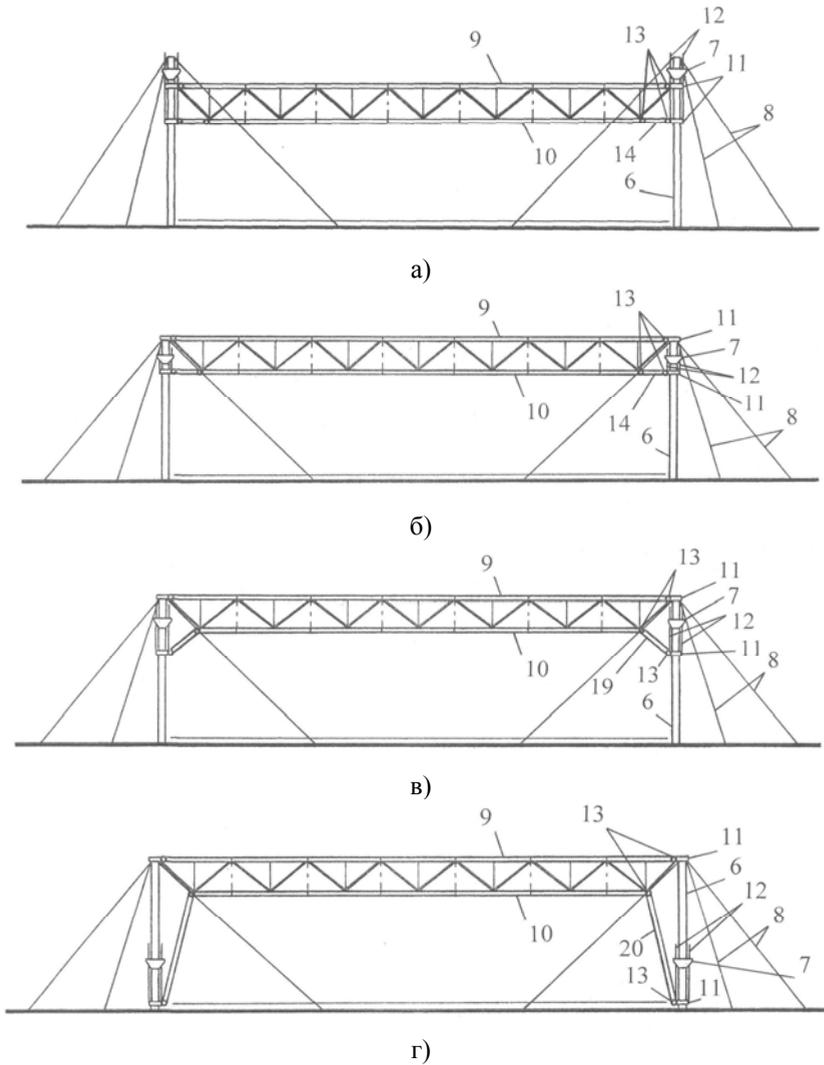


Рис. 3. Схеми просторового покриття із перехрестної системи в процесі монтажу по методу підйому:

- а – вид сбоку в проміжній стадії підйому; б – вид сбоку в завершальній стадії підйому; в – вид сбоку покриття з підкосами контурних ферм в завершальній стадії підйому; г – вид сбоку покриття з нахилними ветвями кутових колон в завершальній стадії підйому; 6 – кутові колонни; 7 – підйомники; 8 – расчалки; 9 – верхній пояс контурних ферм; 10 – нижній пояс контурних ферм; 11 – парні обійми; 12 – грузові тяги; 13 – шарнири; 14 – стержневі елементи з парними реверсивними пристроями; 19 – підкоси контурних ферм; 20 – нахилні ветви кутових колон

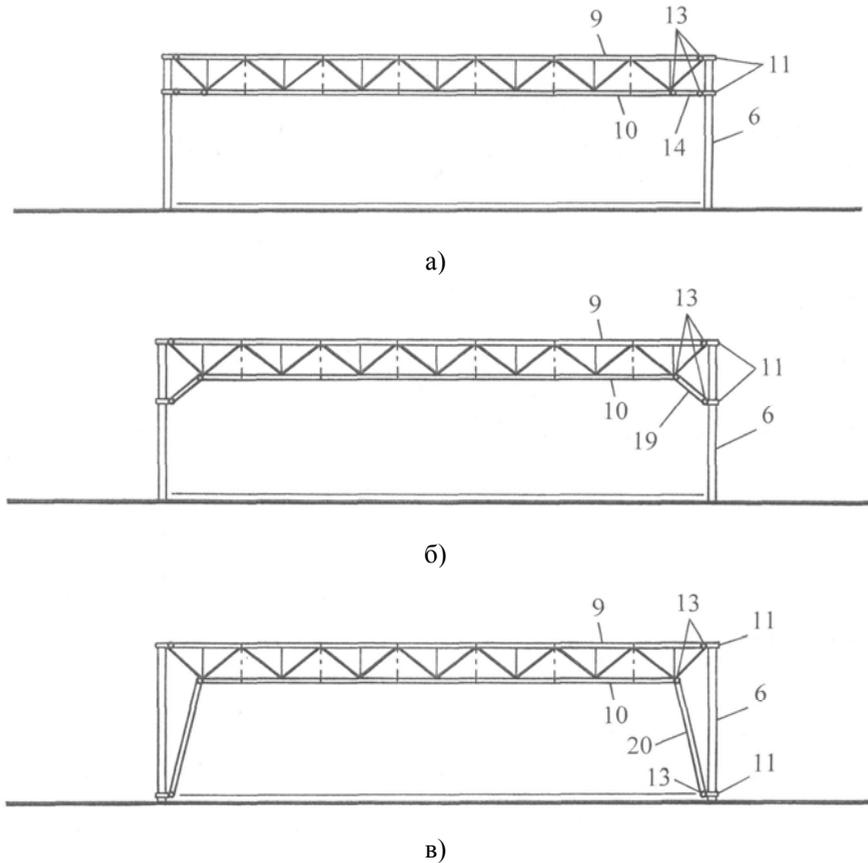


Рис. 4. Схемы пространственного покрытия из перекрестной системы:  
а – вид сбоку покрытия после монтажа; б – вид сбоку покрытия с подкосами контурных ферм после монтажа; в – вид сбоку покрытия с наклонными ветвями угловых колонн после монтажа; 6 – угловые колонны; 9 – верхний пояс контурных ферм; 10 – нижний пояс контурных ферм; 11 – парные обоймы; 13 – шарниры; 14 – стержневые элементы с парными реверсивными устройствами; 19 – подкосы контурных ферм; 20 – наклонные ветви угловых колонн

Предлагаемое пространственное покрытие имеет достаточно универсальное техническое решение. Его можно использовать, например, для минимального расхода конструкционного материала, когда посредством предварительного напряжения величина максимального балочного момента перераспределяется между опорами и пролетом поровну. При этом значения поясных усилий внутренних и контурных ферм выравниваются, что повышает степень унификации по сечению стержневых элементов, а прогиб в середине пролета уменьшается более

чем на одну треть. Кроме того, переход от шарнирных опираний перекрестной системы пространственного покрытия к жестким максимально разгружает фундаменты и основания (или другие опорные конструкции), так как жесткие закрепления опорных конструкций (колонн), сосредоточенные в фундаментах, можно перенести и рассредоточить в несущих конструкциях покрытий и перекрытий. Это позитивно влияет на несущую способность и силовое сопротивление каркасов, в том числе, динамическим нагрузкам значительной интенсивности, включая сейсмические и крановые воздействия.

Пространственное покрытие из перекрестной системы включает в свой состав внутренние фермы 1 и равновысокие им контурные фермы 2. Каждая из ячеек перекрестной системы делится пополам прогонами 3. При пролетах 30 м и более обычно устанавливают приконтурные связи 4 по нижним поясам ферм [3]. По верхним поясам ферм и прогонам уложены стальные оцинкованные листы профилированного настила 5. Опорами перекрестной системы служат угловые колонны 6, которые разработаны с учетом монтажа покрытия по методу подъема, закрепления на них подъемников 7 и монтируемых конструкций (рис. 5, 6) [4, 5].

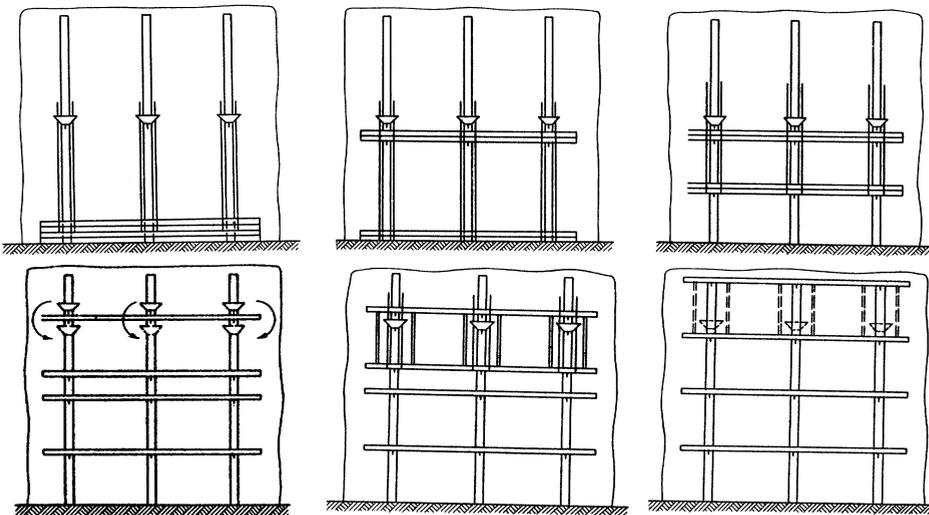


Рис. 5. Схемы возведения сооружения (здания) методом подъема перекрытий и покрытия

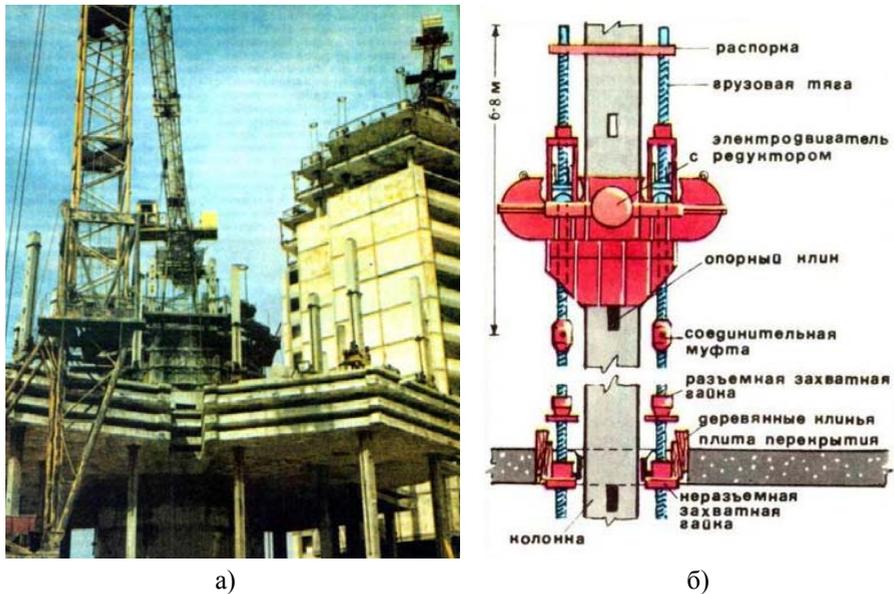


Рис. 6. Общий вид возведения здания методом подъема перекрытий (а)  
и схема расположения подъемника на колонне (б)

Монтаж покрытия начинают с установки угловых колонн 6, которые центрируют в фундаментах и закрепляют в вертикальном положении при помощи расчалок 8. На планировочной поверхности сборку перекрестных ферм (внутренних 1 и контурных 2) из отправочных марок (длиной, равной их шагу в обоих ортогональных направлениях) ведут от центрального узла пересечения или центральной ячейки, последовательно подрачивая против хода или по ходу часовой стрелки. Такая очередность сборки обеспечивает равномерное распределение всех неточностей монтируемых конструкций. Узлы сопряжений верхних поясов 9 и нижних поясов 10 контурных ферм 2 с колоннами 6 решены при помощи парных обойм 11, выполненных с учетом их закрепления на колоннах в процессе монтажа (демонтажа) и эксплуатации, а также соединения с грузовыми тягами 12 подъемников 7. Верхний пояс 9 контурной фермы 2 соединен с верхней обоймой 11 шарниром 13. Нижний пояс 10 контурной фермы 2 связан с нижней обоймой 11 при помощи двух шарниров 13, между которыми устанавливают стержневой элемент 14 с парными реверсивными устройствами. Последние включают в свой состав стержневые шпильки 15 (укомплектованные необходимыми шайбами, гайками и контргайками) и тарельчатые пружины 16, объединяющие в единое целое две опорные части 17 и одну ствольную часть 18 стержневого элемента 14. За счет соответствующего размера ствольной части 18 стержневой элемент 14 из приопорной панели нижнего пояса 10 можно трансформировать в подкос 19 контурной фермы 2 или наклонную ветвь 20 угловой колонны 6.

Стержневые элементы 14 с парными реверсивными устройствами изготавливают в заводских условиях. Каждый такой элемент собирают из двух опорных частей 17 и одной ствольной части 18 (рис. 7). Опорная часть 17 представляет собой обойму стаканной формы, дном которой является плита 21 с деталями шарнира 13. Патрубки 22 в количестве четырех штук для пропуска стяжных шпилек 15 закреплены на углах боковых граней обоймы опорной части 17 при помощи двух диафрагм 23. На угловых участках этих же граней в промежутках между плитами 21 и патрубками 22 выполнены прорезы, в которых размещены торцевые кронштейны 24 ствольной части 18. Аналогично патрубки 22 в количестве четырех штук для пропуска стяжных шпилек 15 закреплены на кронштейнах 24 при помощи двух диафрагм 25. Размер прорезей в опорной части 17 и расстояние между соосными патрубками 22 обеспечивают необходимый запас хода стяжных шпилек 15 для регулирования уровня предварительного напряжения с помощью тарельчатых пружин 16.

После укрупнительной сборки перекрестной системы на планировочной поверхности ее внутренние фермы 1 и контурные фермы 2 тщательно выверяют и затягивают болтовые соединения монтажных стыков. По верхней поясной сетке перекрестной системы устанавливают и надежно закрепляют прогоны 3 и профилированные листы настила 5 (с образованием жесткого диска), а по нижней поясной сетке – приконтурные связи 4. Собранный таким образом пространственный покрытие обладает вполне достаточным ресурсом несущей способности для того, чтобы его можно было транспортировать вверх на проектную отметку. На угловые колонны 6 устанавливают подъемники 7, а их грузовые тяги 12 соединяют с верхними обоймами 11, которые являются опорными узлами для контурных ферм 2 и через шарниры 13 непосредственно соединены с верхними поясами 9. Верхние и нижние обоймы 11 конструктивно решены с использованием гнутых фланцев 26, подкрепленных диафрагмами жесткости 27 (рис. 8) [6, 7]. Удлиненные отогнутые полки трех фланцев 26 из четырех (формирующих одну обойму 11) выполнены с отверстиями и под монтажные болты, и для шарниров 13. Диафрагмы жесткости 27 для пропуска и закрепления грузовых тяг 12 тоже выполнены с отверстиями, подкрепленными патрубками 28. Кроме того, для закрепления на колоннах 6 подъемников 7 и транспортируемых ими конструкций при помощи опорных клиньев 29 в противоположных фланцах на участках между отогнутыми полками сделаны отверстия, совпадающие с отверстиями в стволе колонны.

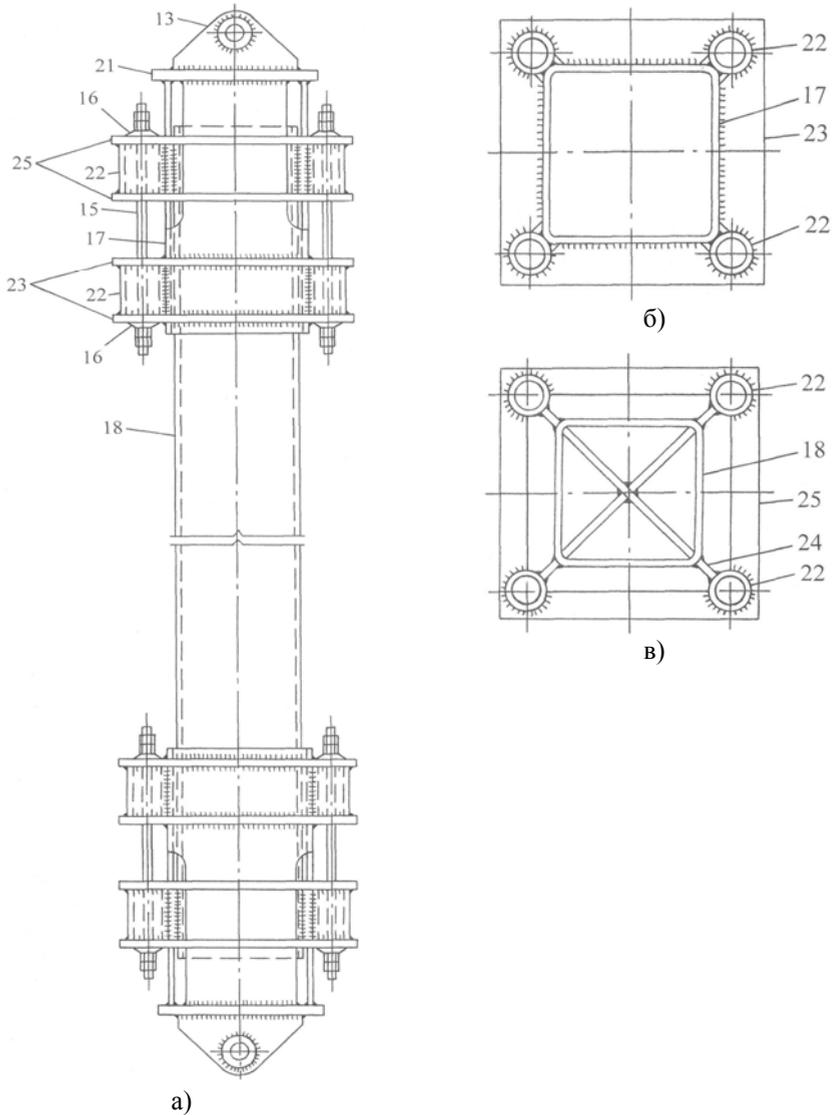


Рис. 7. Схемы стержневого элемента 14 с реверсивными устройствами:  
а – общий вид; б – поперечный разрез опорной части реверсивного устройства;  
в – поперечный разрез ствольной части реверсивного устройства; 13 – детали шарниров; 15 – стяжные шпильки с комплектами шайб, гаек и контргаек; 16 – тарельчатые пружины; 17 – парные опорные части; 18 – ствольная часть; 21 – плита; 22 – патрубки; 23 – парные диафрагмы опорных частей; 24 – кронштейны; 25 – парные диафрагмы ствольной части

Перед началом подъема стержневые элементы 14 с парными реверсивными устройствами приводят в состояние свободной подвески на шарнирах 13 между нижними обоями 11 и нижними поясами 10 контурных ферм 2. Чтобы избежать заклинивания нижней обоймы 11 во время подъема, ее поддерживают в горизонтальном положении при помощи временной подвески к верхней обойме 11 из элементов одной из грузовых тяг 12. Для транспортировки смонтированных конструкций с планировочной поверхности на проектную высотную отметку целесообразно использовать стандартную систему электромеханического оборудования из подъемников с номинальной грузоподъемностью по 50 тонн каждый, обеспечивающую их синхронную работу в автоматическом режиме [8]. Мощность этого оборудования рассчитана для подъема, в основном, железобетонных перекрытий, масса которых много больше массы металлических конструкций. Поэтому такая грузоподъемность вполне достаточна и для подъема смонтированной конструкции, и для создания в ней предварительного напряжения рассчитанной по проекту интенсивности. Технологическую операцию создания предварительного напряжения целесообразно совместить с завершающей стадией подъема, когда, в соответствии с известным техническим решением [7], подъемники демонтируют и устанавливают ниже верхнего уровня монтируемых конструкций, а в данном случае под верхними поясами 9 контурных ферм 2. Процесс подъема возобновляют и продолжают до тех пор, пока верхние обоймы 11 не займут проектное положение, которое можно зафиксировать и надежно закрепить. На этом завершают подъем конструкций и приступают к их предварительному напряжению. После тщательной контрольной проверки фактического положения всех конструкций и уточнения их геометрических параметров с максимально возможной точностью при помощи резьбовых соединений стяжных шпилек 15 регулируют линейные размеры всех стержневых элементов 14. Выполняют это с таким расчетом, что при подтягивании нижних обойм 11 к уже закрепленным верхним обоям состояние свободной подвески в стержневых элементах 14 плавно сменяется их укорочением, сопровождаемым равномерным обжатием нижних поясов 10 контурных ферм 2 и соответствующим растяжением верхних поясов 9. Проектный уровень предварительного напряжения должен быть зафиксирован в тот момент, когда продольные оси стержневых элементов 14 совпадут с продольными осями нижних поясов 10. После контрольной проверки выполнения данного требования нижние обоймы 11 можно надежно закрепить, а подъемники 7 и расчалки 8 демонтировать.

Если в пространственном покрытии из перекрестной системы приопорные панели 14 нижнего пояса контурных ферм трансформированы в подкосы 19 тех же ферм, то завершающая стадия подъема также будет несколько отличаться от приведенной выше. Расстояние между верхними и нижними

парными обоймами 11 превышает высоту контурных ферм. В предыдущем случае подъемники 7 демонтировали и устанавливали ниже верхних поясов, но выше нижних поясов контурных ферм. В данном случае устанавливать подъемники можно выше, ниже или на одном уровне с нижними поясами. Выбор выполняют с тем расчетом, чтобы при подтягивании нижних обойм 11 к уже закрепленным верхним обоймам в стержневых элементах подкосов 19 имело место плавное укорочение, сопровождаемое равномерным обжатием нижних поясов 10 контурных ферм 2 и соответствующим растяжением верхних поясов 9. Проектный уровень предварительного напряжения должен быть зафиксирован в тот момент, когда продольные оси подкосов 19 совпадут с их проектным положением, определяемым, например, технико-экономическим анализом несущих конструкций [9]. После контрольной проверки выполнения данного требования нижние обоймы 11 можно надежно закрепить, а подъемники 7 и расчалки 8 демонтировать.

Аналогично, если в пространственном покрытии из перекрестной системы приопорные панели 14 нижнего пояса контурных ферм трансформированы в наклонные ветви 20 угловых колонн 6, то завершающая стадия подъема также будет отличаться от приведенных выше. Расстояние между верхними и нижними парными обоймами 11 определяется высотой угловых колонн. В рассматриваемом случае демонтировать и устанавливать подъемники 7 целесообразно ближе к основаниям колонн с тем расчетом, чтобы при подтягивании нижних обойм 11 к уже закрепленным верхним обоймам в стержневых элементах наклонных ветвей 20 имело место плавное укорочение, сопровождаемое равномерным обжатием нижних поясов 10 контурных ферм 2 и соответствующим растяжением верхних поясов 9. Проектный уровень предварительного напряжения, как и в предыдущем случае, должен быть зафиксирован в тот момент, когда продольные оси наклонных ветвей 20 совпадут с их проектным положением, определяемым, например, оптимизацией угла наклона ветвей V-образных колонн [10]. По аналогии с рассмотренными случаями, после контрольной проверки выполнения данного требования нижние обоймы 11 можно надежно закрепить, а подъемники 7 и расчалки 8 демонтировать.

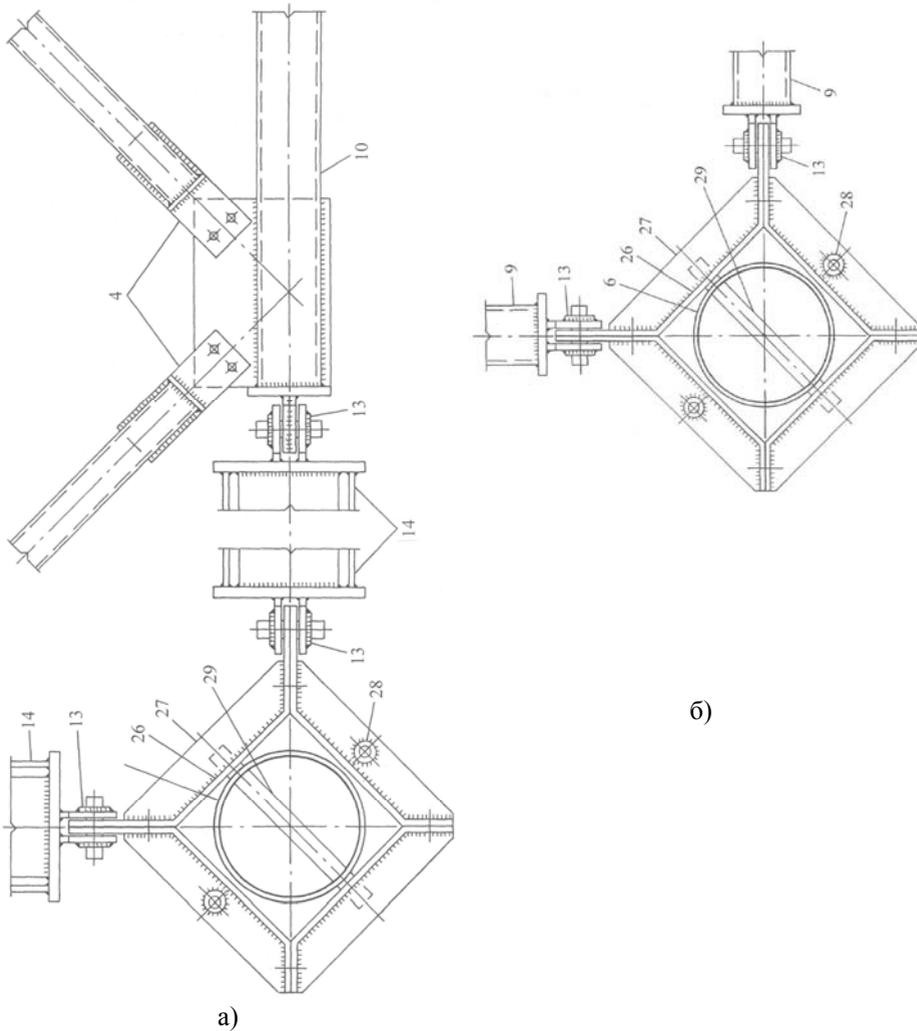


Рис. 8. Схематичные виды сверху узлов сопряжения нижних поясов (а) и верхних поясов (б) контурных ферм с угловой колонной:

- 4 – приконтурные связи по нижним поясам ферм; 6 – угловая колонна;
- 9 – верхние пояса контурных ферм; 10 – нижний пояс контурной фермы;
- 13 – шарниры; 14 – стержневые элементы с реверсивными устройствами;
- 26 – гнутые фланцы; 27 – диафрагмы жесткости; 28 – отверстия; подкрепленные патрубками; 29 – опорный клин

При подведении некоторых итогов по техническому решению предварительного напряжения опорных (карнизных) узлов контурных ферм перекрестных систем можно сделать заключение, что оно обладает достаточной и необходимой перспективностью для более детальных проработок.

## **Выводы**

1. Для качественной и количественной оценки эффективности управления параметрами легких металлических конструкций использованы их статические свойства, поэтому не меньший практический интерес представляет учет также их динамических (амплитудно-частотных) характеристик.
2. Положительный эффект управляемых конструкций пространственных покрытий из перекрестных систем, выявленный в условиях их применения для нового строительства, может оказаться более весомым в аналогичных условиях использования для реконструкции и модернизации существующих объектов.
3. Оба сформулированных вывода целесообразно связать напрямую с повышением сейсмостойкости несущих конструкций зданий и сооружений при помощи гибких верхних этажей (ГВЭ), выполняющих функции динамических гасителей колебаний, разработанных до землетрясения в Спитаке и реализованных на практике после него [11, 12].
4. Включение в состав рассматриваемых конструкций трубобетонных элементов круглых и квадратных сечений, а также монолитных плит с внешним армированием и несъемной опалубкой в виде настилов из стальных профилированных оцинкованных листов может обеспечить дополнительный эффект.

## **Литература**

- [1] А. с. 1135875 СССР, МКИ Е 04 В 7/14. Пространственное покрытие / А. Я. Прицкер, В. В. Трофимович, М. А. Давлятов. – № 3607082/29-33; заявл. 17.06.1983 ; опубл. 23.01.1985, Бюл. № 3. – 4 с. : ил.
- [2] Пат. 2539524 Российская Федерация, МПК Е 04 В 7/14. Пространственное покрытие из перекрестной системы / А. С. Марутян. – № 2013136297/03; заявл. 01.08.2013 ; опубл. 20.01.2015, Бюл. № 2. – 19 с. : ил.
- [3] Трофимов В. И. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений : учебное пособие / В. И. Трофимов, А. М. Каминский. – М. : Изд-во АСВ, 2002. – С. 107.
- [4] А. с. 1087638 СССР, МКИ Е 04 G 21/14. Способ возведения сооружений методом подъема / А. О. Саакян, Р. О. Саакян, С. Х. Шахназарян, К. Г. Мовсесов. – № 3567822/29-33 ; заявл. 05.04.1983 ; опубл. 23.04.1984, Бюл. № 15. – 4 с. : ил.
- [5] Александров П. Начнем с потолка / П. Александров // Техника-молодежи. – 1989. – № 3. – С. 30–34.

- [6] А. с. 1283322 СССР, МКИ Е 04 В 1/58, 1/24. Узел соединения перекрестных стержневых конструкций / С. И. Аванесов, В. И. Трофимов, А. С. Марутян, А. Я. Прицкер, В. А. Аденский, И. Л. Пименов. – № 3956855/29-33 ; заявл. 26.09.1985 ; опубл. 15.01.1987, Бюл. № 2. – 2 с. : ил.
- [7] Шагинян С. Г. Пространственные покрытия зданий и сооружений / С. Г. Шагинян, С. И. Аванесов, А. С. Марутян // НТО стройиндустрии. – М. : Стройиздат, 1988. – С. 42–44.
- [8] Саакян А. О., Саакян Р. О., Шахназарян С. Х. Возведение зданий и сооружений методом подъема: Исследования, проектирование, строительство / А. О. Саакян, Р. О. Саакян, С. Х. Шахназарян. – М. : Стройиздат, 1982. – 551 с.
- [9] Кузнецов И. Л. Новые конструктивные решения стальных каркасов легких многопролетных зданий / И. Л. Кузнецов, М. А. Салахутдинов, Л. Р. Гимранов. – Казань : Известия КазГАСУ, 2011. – № 1(15). – С. 88–92.
- [10] Салахутдинов М. А. Оптимизация параметров нового конструктивного решения стального каркаса многопролетного здания / М. А. Салахутдинов, И. Л. Кузнецов. – Казань : Известия КазГАСУ, 2012. – № 2(20). – С. 94–98.
- [11] А. с. 1393895 СССР, МКИ Е 04 Н 9/02. Многоэтажное сейсмостойкое здание / Э. Е. Хачиян, З. М. Хлгатын, М. Г. Мелкумян. – № 4059944/29-33 ; заявл. 22.04.1986 ; опубл. 07.05.1988, Бюл. № 17. – 4 с. : ил.
- [12] Мелкумян М. Г. Исследование эффективности одно- и двухмассового динамического гасителя колебаний на модели каркасного здания при вибрационных испытаниях / М. Г. Мелкумян // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 5. – С. 23–29.

*Надійшла до редколегії 25.07.2016 р.*