

где σ_{pd} – напряжение в арматуре от внешнего нагружения фермы;

$\sigma_{p\infty}$ – предварительное напряжение с учетом всех потерь;

l_{pt} – базовая длина зоны передачи напряжений.

$$l_{pt} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \varnothing \cdot \sigma_{pi} / f_{bpt},$$

здесь $\alpha_1 = 1,0$ – при постепенной передаче усилия обжатия;

$\alpha_2 = 0,25$ – для высокопрочной проволоки.

Напряжения сцепления f_{bpt} определяются по формуле 11.8 [1]:

$$f_{bpt} = \eta_{p1} \cdot \eta_1 \cdot f_{ctd}.$$

Предельное напряжение сцепления по контакту напрягаемой арматуры с бетоном в соответствии с формулой 11.9 [1]:

$$f_{bpd} = \eta_{p2} \cdot \eta_1 \cdot f_{ctd}.$$

Коэффициент η_1 принимается по рекомендациям п.11.2.33 [1], а $\eta_{p1} = 2,7$ и $\eta_{p2} = 1,4$ для стержней периодического профиля и высокопрочной проволоки и $\eta_{p1} = 3,2$ и $\eta_{p2} = 1,2$ для семипроволочных канатов (п.11.3.4.4 [1]).

Тогда

$$f_{bpt} = 2,7 \cdot 0,7 \cdot 1,35 = 2,55 \text{ МПа},$$

$$f_{bpd} = 1,4 \cdot 0,7 \cdot 1,35 = 1,32 \text{ МПа},$$

$$l_{pt} = 1,0 \cdot 0,25 \cdot 5 \cdot 754,7 / 2,55 = 370 \text{ мм},$$

$$l_{bpd} = 1,2 \cdot 370 + 0,25 \cdot 5 \cdot (733 - 511,5) \cdot 1,32 = 810 \text{ мм}.$$

Усилия в арматуре в сечении, пересекаемого наклонной трещиной АВ:

$$N_{sr.s} = 8,04 \cdot 10^2 \cdot 450 \cdot 500 / 507 = 361,8 \cdot 10^3 \text{ Н} = 361,8 \text{ кН},$$

$$N_{sr.p} = 13,7 \cdot 10^2 \cdot 1000 \cdot 500 / 810 = 845,7 \cdot 10^3 \text{ Н} = 845,7 \text{ кН}.$$

Из условия прочности на отрыв нижнего пояса по сечению АВ из-за ненадежной анкеровки преднатяженной арматуры и дополнительных стержней (рис. 2) усилие в поперечной арматуре должно быть не менее

$$N_{sr.w} \geq \frac{N_{sd.1} - N_{sr.p} - N_{sr.s}}{\text{ctg}\alpha} = \frac{1500 - 845,7 - 361,8}{1,8} = 162,5 \text{ кН},$$

где $\alpha = 29^\circ$ ($\text{ctg}\alpha = 1,8$) – угол наклона линии отрыва АВ к оси нижнего пояса фермы.

Принимается в сечении поперечная арматура класса S500 с шагом 100 мм, тогда требуемая площадь одного поперечного стержня из условия отрыва:

$$A_{sw} = \frac{N_{sr.w}}{n \cdot f_{ywd}} = \frac{162,5 \cdot 10^3}{18 \cdot 324} = 27,8 \text{ мм}^2,$$

где $n = 18$ – число поперечных стержней, пересекаемых линией АВ (исключая поперечные стержни, расположенные ближе, чем на 100 мм к точке А).

Из условия равновесия сил по сечению АСС₁ высота сжатой зоны:

УДК 624.04

Уласевич В.П.

ДЕФОРМАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ КОНТУРНОГО КОЛЬЦА НА ДЕЙСТВИЕ ПРОИЗВОЛЬНОЙ РАДИАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

В практике проектирования и строительства большепролетных зданий широкое применение находят пологие гибкие радиально-стержневые системы покрытий, пролетная часть которых представляет собой радиальную сетку из гибких стержней, шарнирно соединенных одним кольцом в общий узел, а другим – с упругим контурным кольцом [1], образуя при этом ребристую купольную либо висячую оболочку.

$$x = \frac{N_{sr.p} + N_{sr.s}}{\omega_c \cdot \alpha \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{(845,7 + 361,8) \cdot 10^3}{0,81 \cdot 0,85 \cdot 20 \cdot 300} = 292 \text{ мм}.$$

Из условия прочности на изгиб опорного узла по сечению АСС₁ усилие в поперечной арматуре должно быть не менее:

$$N_{sr.w} = \frac{N_{sd.2} \cdot (l_{bl} - \frac{l_{sup}}{2}) \cdot \sin\beta - N_{sr.p} (d_p - k_2 \cdot x)}{z_{sw}} -$$

$$- \frac{N_{sr.s} (d_s - k_2 \cdot x)}{z_{sw}} = \frac{1800 \cdot 10^3 (1160 - \frac{220}{2}) \cdot 0,446}{470} -$$

$$- \frac{845,7 \cdot 10^3 (730 - 0,416 \cdot 292)}{470} -$$

$$- \frac{361,8 \cdot 10^3 (730 - 0,461 \cdot 292)}{470} = 230,1 \text{ кН},$$

здесь: $\beta = 26,5^\circ$ ($\sin\beta = 0,446$) – угол наклона приопорной панели верхнего пояса;

$d_p = d_s = h_{sup} - h/2 = 880 - 300/2 = 730$ мм – рабочая высота опорного сечения;

z_{sw} – расстояние от центра тяжести сжатой зоны бетона до равнодействующей усилий в поперечной арматуре опорного узла:

$$z_{sw} = (l_{on} - l_{sup}) \cdot 0,5 = (1,160 - 220) \cdot 0,5 = 470 \text{ мм}.$$

Требуемая площадь одного поперечного стержня из условия изгиба:

$$A_{sw} = \frac{230,1 \cdot 10^3}{18 \cdot 324} = 39,5 \text{ мм}^2.$$

Принимаются стержни $\varnothing 8$ мм, $A_s = 50,3 \text{ мм}^2$ класса S500 с шагом 100 мм.

Выполненные в соответствии со СНиП 2.02.01-84 [2] данные расчеты при тех же исходных данных для раскосных ферм [3] показывают идентичные результаты. Данное обстоятельство свидетельствует о достоверности результатов расчета и приемлемости указанного подхода к расчету опорных узлов ферм в соответствии с СНБ 5.03.01-02.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции. – Мн.: Стройтехнорм. 2002. – 140 с.
2. СНиП 2.02.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1985. – 88с.
3. Серия ПК-01-129/76, вып. 4. Железобетонные предварительно напряженные сегментные фермы для покрытий зданий с пролетами 18 и 24 м.

Уласевич Вячеслав Прокофьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура

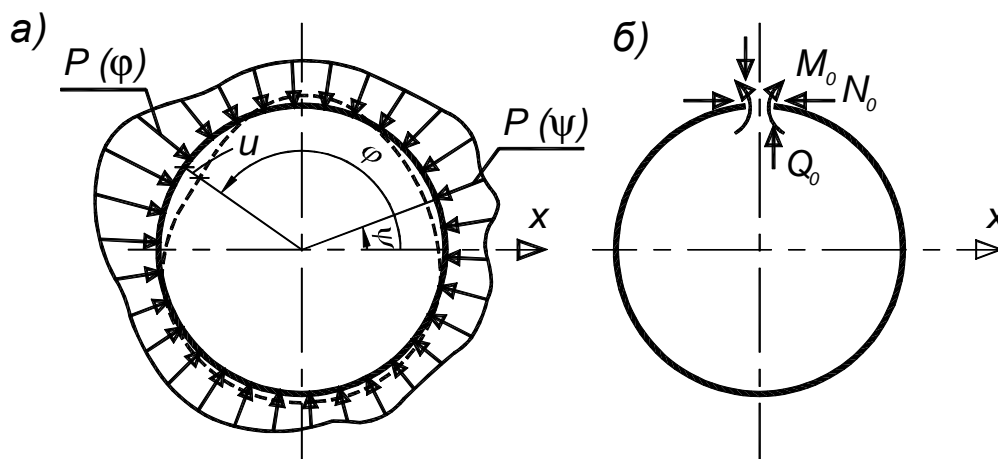


Рис. 1. К напряженно-деформированному состоянию контурного кольца.

кольцевом направлении, то напряженно-деформированным состоянием опорного контура, близким к безмоментному, будет его круговое очертание в плане. Именно поэтому купольные и висячие системы на круговом контуре являются объектом многочисленных теоретических и экспериментальных исследований.

Другая особенность гибких пологих радиальных систем – четко выраженный пространственный характер работы, поэтому при действии неравновесной нагрузки на покрытие (снег, ветер) последняя, воздействием произвольными величинами распоров гибких стержней пролетной части, вызывает в опорном контуре системы произвольную функцию перемещений.

Третья их особенность – сильное влияние на напряженно-деформированное состояние поперечных радиальных деформаций контурного кольца [2].

Вышеназванные особенности гибких пологих радиальных систем покрытий указывают на актуальность аналитического решения задачи об изгибе кругового контурного кольца, находящегося в равновесии под действием произвольной сплошной радиально направленной нагрузки, так как такое решение совместно с решением для пологих гибких стержней [3] дает возможность сформировать систему разрешающих уравнений для расчета радиально-стержневых систем по деформированной схеме равновесия.

Полагаем, что радиальная сетка воздействует на круглое контурное кольцо сплошной упругой средой произвольной интенсивности $q(\varphi)$ (рис. 1, а).

При отыскании решения пренебрегаем тангенциальной составляющей распоров вследствие малости горизонтальных перемещений общего узла в сравнении с радиусом кольца.

Для определения функций радиальных перемещений $u(\varphi)$, изгибающих моментов $M(\varphi)$, поперечных $Q(\varphi)$ и продольных $N(\varphi)$ сил воспользуемся дифференциальными зависимостями изгиба плоского криволинейного стержня [4], которые для стержня кругового очертания при воздействии сплошной радиальной нагрузки $q(\varphi)$, и учета, что $ds = \rho d\varphi$ запишем так:

$$\frac{d^2 u}{d\varphi^2} + u = \frac{\rho^2}{EI} M, \quad (1)$$

$$\frac{d^2 M}{d\varphi^2} + M = C - \rho^2 q(\varphi), \quad (2)$$

$$Q = -\frac{1}{\rho} \frac{dM}{d\varphi}, \quad (3)$$

$$N = -\frac{1}{\rho} \frac{d^2 M}{d\varphi^2} - \rho q(\varphi), \quad (4)$$

где ρ – радиус кольца; $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ – угол вращения радиуса кольца.

Общее решение неоднородного уравнения (1) ищем методом вариации произвольных постоянных в виде

$$u = C_1 \cos \varphi + C_2 \sin \varphi - \cos \varphi \int \frac{\rho^2}{EI} M(\varphi) \sin \varphi d\varphi + \sin \varphi \int \frac{\rho^2}{EI} M(\varphi) \cos \varphi d\varphi, \quad (5)$$

которое после замены переменной интегрирования φ на ψ ($0 \leq \psi \leq \varphi$) и применения теоремы сложения для кратных углов, будет иметь вид

$$u = C_1 \cos \varphi + C_2 \sin \varphi + \frac{\rho^2}{EI} \int_0^\varphi M(\psi) \sin(\varphi - \psi) d\psi \quad (6)$$

Общее решение уравнения (2) так же ищем методом вариации произвольных постоянных, которое, используя математическое подобие с (1), запишем в следующем виде

$$M = C_3 \cos \varphi + C_4 \sin \varphi - C - \rho^2 \int_0^\varphi q(\psi) \sin(\varphi - \psi) d\psi \quad (7)$$

Установим связь входящих в (7) постоянных интегрирования с внутренними усилиями M , Q и N . Для этого продифференцируем выражение (7) дважды и воспользуемся дифференциальными зависимостями (3) и (4), при условиях:

$$M|_{\varphi=0} = M_0; \quad Q|_{\varphi=0} = Q_0; \quad N|_{\varphi=0} = N_0.$$

В результате получим систему линейных уравнений, решив которую, определим постоянные интегрирования:

$$C_3 = M_0 - C; \quad C_4 = -Q_0 \cdot \rho; \quad C = N_0 \cdot \rho - M_0. \quad (8)$$

Подставим (8) в (7) запишем функцию изгибающих моментов так

$$M = M_0 - N_0 \cdot \rho(1 - \cos \varphi) - Q_0 \cdot \rho \sin \varphi - \rho^2 \int_0^\varphi q(\psi) \sin(\varphi - \psi) d\psi. \quad (9)$$

После подстановки (9) в (6), вычисления кратных интегралов и некоторых упрощений, получим функцию радиальных перемещений в виде

$$u = C_1 \cos \varphi + C_2 \sin \varphi + \frac{\rho^2}{EI} (M_0 - \rho N_0) (1 - \cos \varphi) + \frac{\rho^3}{2EI} N_0 \varphi \sin \varphi - \frac{\rho^3}{2EI} Q_0 \sin \varphi + \frac{\rho^3}{2EI} Q_0 \varphi \cos \varphi - \frac{\rho^4}{2EI} \int_0^\varphi q(\psi) \sin(\varphi - \psi) d\psi + \frac{\rho^4}{2EI} \int_0^\varphi (\varphi - \psi) q(\psi) \cos(\varphi - \psi) d\psi. \quad (10)$$

Выражения (9) и (10) содержат в качестве неизвестных внутренние усилия в кольце M_0 , Q_0 , N_0 , которые должны быть определены. Для их определения воспользуемся выражением (9), которое состоит из функций изгибающих моментов в кольце от внутренних сил M_0 , Q_0 , N_0 и внешней нагрузки $q(\varphi)$:

$$M_{1\varphi} = M_0; \quad M_{2\varphi} = -N_0 \rho (1 - \cos \varphi);$$

$$M_{3\varphi} = -Q_0 \rho \sin \varphi; \quad M_{p\varphi} = -\rho^2 \int_0^\varphi q(\psi) \sin(\varphi - \psi) d\psi. \quad (11)$$

Для определения неизвестных M_0 , Q_0 и N_0 воспользуемся системой уравнений деформаций метода сил, которая для основной системы, представленной на рис. 1, б, имеет вид:

$$\begin{cases} \delta_{11} M_0 + \delta_{12} N_0 = -\Delta_{1P}; \\ \delta_{21} M_0 + \delta_{22} N_0 = -\Delta_{2P}; \\ \delta_{33} Q_0 = -\Delta_{3P}. \end{cases} \quad (12)$$

Коэффициенты и свободные члены системы уравнений (12) определяем по формуле Мора с учетом функций (11) при $M_0=1$; $Q_0=1$; $N_0=1$. Решив систему уравнений (12) относительно внутренних сил M_0 , Q_0 , N_0 , получим:

$$M_0 = \frac{\rho^2}{2\pi} \left(\int_0^{2\pi} q(\psi) d\psi + \int_0^{2\pi} q(\psi) \psi \sin \psi d\psi \right);$$

$$Q_0 = \frac{\rho}{2\pi} \int_0^{2\pi} q(\psi) \psi \cos \psi d\psi; \quad N_0 = \frac{\rho}{2\pi} \int_0^{2\pi} q(\psi) \psi \sin \psi d\psi. \quad (13)$$

Продифференцировав (9) дважды с учетом (13), и подставив полученные выражения в (3) и (4), получим:

$$M(\varphi) = \frac{\rho}{2\pi} (S_1 + S_2 \cos \varphi - S_3 \sin \varphi) - \rho^2 \int_0^\varphi q(\psi) \sin(\varphi - \psi) d\psi, \quad (14)$$

$$Q(\varphi) = \frac{\rho}{2\pi} (S_2 \sin \varphi - S_3 \cos \varphi) - \rho \int_0^\varphi q(\psi) \cos(\varphi - \psi) d\psi, \quad (15)$$

$$N(\varphi) = \frac{\rho}{2\pi} (S_2 \cos \varphi - S_3 \sin \varphi) - \rho \int_0^\varphi q(\psi) \sin(\varphi - \psi) d\psi, \quad (16)$$

$$\text{Здесь: } S_1 = \rho \int_0^{2\pi} q(\psi) d\psi, \quad S_2 = \rho \int_0^{2\pi} q(\psi) \psi \sin \psi d\psi,$$

$$S_3 = \rho \int_0^{2\pi} P(\psi) \psi \cos \psi d\psi. \quad (17)$$

Для определения постоянных интегрирования C_1 и C_2 входящих в (10), используем условия замкнутости кольца, записанные из предпосылки о несмещаемости его центра масс:

$$\int_0^{2\pi} u \sin \varphi d\varphi = 0; \quad \int_0^{2\pi} u \cos \varphi d\varphi = 0, \quad (18)$$

Условия (18) совместно с (10) и (13) приводят к системе двух линейных уравнений, решение которой позволяет определить постоянные интегрирования C_1 и C_2 .

Тогда с учетом значений C_1 и C_2 функцию (10) запишем в замкнутом виде так

$$u = \frac{\rho^3}{4\pi EI} (2S_1 + S_2 (\cos \varphi + \pi \sin \varphi + \varphi \sin \varphi) - S_3 (\sin \varphi - \pi \cos \varphi - \varphi \cos \varphi) - \frac{1}{2} (S_4 \sin \varphi + S_5 \cos \varphi)) - \quad (19)$$

$$-\frac{\rho^4}{2EI} \left(\int_0^\varphi q(\psi) \sin(\varphi - \psi) d\psi - \int_0^\varphi (\varphi - \psi) q(\psi) \psi^2 \cos \psi d\psi \right),$$

$$\text{где } S_4 = \rho \int_0^{2\pi} q(\psi) \psi^2 \sin \psi d\psi;$$

$$S_5 = \rho \int_0^{2\pi} q(\psi) \psi^2 \cos \psi d\psi. \quad (20)$$

Пользуясь теоремой о среднем по аналогии с [3] интегральные квадратуры функций со сплошной нагрузкой $q(\psi)$, входящие в выражения (12), (13), (14), (15) и (18), легко заметить на дискретную форму с массивами распоров H_k радиальной сетки. Тогда для k -го радиального стержня ($1 \leq k \leq n$) функции перемещений (16), изгибающих моментов (12), поперечных (14) и продольных (15) сил можно представить в такой форме:

$$u_k = \frac{\rho^3}{4\pi EI} (2S_1 + S_2 (\cos \varphi_i + \pi \sin \varphi_i + \varphi_i \sin \varphi_i) - S_3 (\sin \varphi_i - \pi \cos \varphi_i - \varphi_i \cos \varphi_i) - \frac{1}{2} (S_4 \sin \varphi_i + S_5 \cos \varphi_i)) - \frac{\rho^4}{2EI} \left(\sum_{k=1}^{n_\varphi} H_k \sin(\varphi_i - \psi_k) - \sum_{k=1}^{n_\varphi} H_k (\varphi_i - \psi_k) \cos(\varphi_i - \psi_k) \right). \quad (21)$$

$$M_k = \frac{\rho}{2\pi} (S_1 + S_2 \cos \varphi_i - S_3 \sin \varphi_i) - \rho \sum_{k=1}^{n_\varphi} H_k \sin(\varphi_i - \psi_k); \quad (22)$$

$$Q_k = \frac{\rho}{2\pi} (S_2 \sin \varphi_i + S_3 \cos \varphi_i) - \rho \sum_{k=1}^{n_\varphi} H_k \cos(\varphi_i - \psi_k); \quad (23)$$

$$N_k = \frac{\rho}{2\pi} (S_2 \cos \varphi_i - S_3 \sin \varphi_i) - \rho \sum_{k=1}^{n_\varphi} H_k \sin(\varphi_i - \psi_k); \quad (24)$$

$$\text{Здесь: } S_2 = \sum_{k=1}^n H_k \psi_k \sin \psi_k; \quad S_3 = \sum_{k=1}^n H_k \psi_k \cos \psi_k;$$

$$S_4 = \sum_{k=1}^n H_k \psi_k^2 \sin \psi_k; \quad S_5 = \sum_{k=1}^n H_k \psi_k^2 \cos \psi_k. \quad (25)$$

Вывод. Получено решение в интегральных квадратурах задачи об изгибе кругового контурного кольца, находящегося в равновесии под воздействием произвольной радиально направленной функции сплошной нагрузки. Это решение, на основании теоремы о среднем, представлено так же в дискретной форме при воздействии на контурное кольцо произ-

вольной радиально направленной уравновешенной системы сосредоточенных сил. Последнее позволяет совместно с системой разрешающих уравнений для гибкого стержня [3] сформулировать нелинейную контактную задачу о взаимодействии контурного кольца и радиальной сетки из гибких стержней, а, следовательно, создает условия для разработки общего метода расчета пологих гибких радиально-стержневых систем по деформированной схеме равновесия.

УДК 624.04

Уласевич В.П., Костюк О.В.

РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УСИЛИЙ ПРИ УСИЛЕНИИ НЕСУЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИБКИХ БАЛОЧНО-ВАНТОВЫХ СИСТЕМ

Необходимость усиления строительных конструкций вызывается набором факторов, препятствующих продолжению сохранять зданием или сооружением условий, обеспечивающих в процессе их эксплуатации требуемую надежность [1]:

- появлением в процессе эксплуатации недопустимых дефектов и повреждений, которые могут привести к развитию в конструкциях предельных состояний, нарушающих безотказность их работы, способность сохранять заданные эксплуатационные качества в течение определенного срока службы;
- изменениями условий эксплуатации, вызванными необходимостью замены оборудования при реконструкции объекта, его тепловой реабилитацией, изменением внешних силовых воздействий, изменением архитектурно-конструктивных решений;
- аварийными повреждениями в результате стихийных или иных особых воздействий.

Существующие способы усиления несущих конструкций зданий и сооружений обычно классифицируют по степени капитальности, по величине и характеру нагруженности конструктивных элементов объекта, по конструктивным признакам и др.

Анализируя предложенные в литературе способы усиления элементов и систем строительных конструкций, следует сделать вывод, с одной стороны, о многообразии предлагаемых способов усиления существующих конструкций [2], а с другой, о необходимости повышения эффективности конструктивных схем усиления несущих конструкций, выполненных из различных строительных материалов (металлические, железобетонные, каменные, деревянные) [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов Э.Н. Введение в теорию вантовых систем. – М.: Стройиздат, 1969. – 208 с.
2. Москалев Н.С. Конструкции висячих покрытий. – М.: Стройиздат, 1980. – 331 с.
3. Уласевич В.П. Расчет однопоясных распорных систем из гибких стержней по деформированной схеме // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1977. – № 1. – с. 38-45.
4. Ржаницин А.Р. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1982. – 400 с.

Анализ выполненных нами работ по обследованию несущих конструкций зданий различного назначения показал, что наибольший объем работ при капитальном ремонте зданий приходится на усиление несущих конструкций покрытий. При этом из многочисленных способов усиления наиболее востребованными оказались способы усиления, связанные с изменением конструктивных схем работы конструкций и искусственным перераспределением усилий в элементах вновь образованной конструктивной системы усиления. С таких позиций представляют интерес различные комбинированные и шпренгельные системы, образованные установкой разгружающих кронштейнов [2], предварительно напряженных оттяжек и затяжек [3]. Примеры конструктивных схем балочно-вантовых систем для усиления металлических балок приведены на рис. 1.

На рис. 2 представлен пример усиления железобетонных ригелей связевого каркаса общественного здания, выполненного по серии ИИ-04-3. Необходимость в усилении ригелей покрытия многоэтажного здания возникла вследствие увеличения нагрузки на ригель при замене плоской кровли двускатной. Поверочные расчеты показали, что опорные реакции от продольных ферм кровли, возникшие при совместном действии постоянной (собственная масса конструкций кровли) и временной (снег) нагрузок, существующий ригель воспринять не может даже исходя из условий прочности по нормальным сечениям. Очевидно, что в связи с существенным увеличением расчетного значения снеговой нагрузки для районов Республики Беларусь и введением в действие СНБ 5.03.01-02, а так же необходимостью увеличения нагрузки при тепловой реабилитации, такая ситуация при ремонте кровель зданий может возникать достаточно часто.

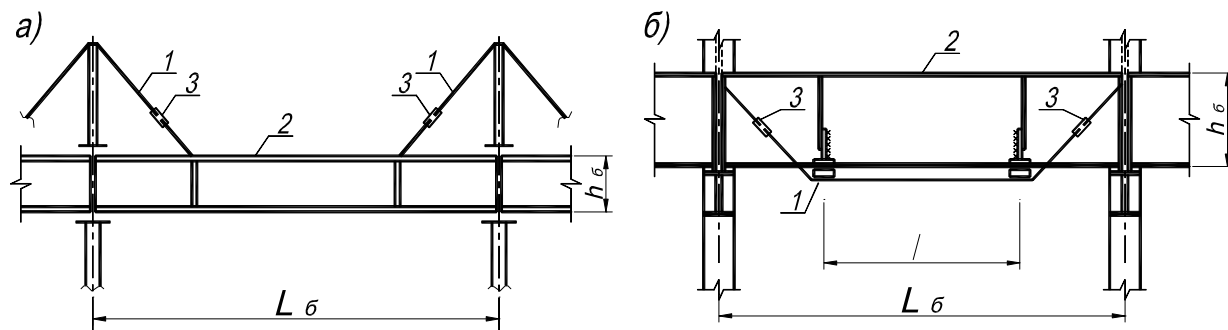


Рис. 1. Конструктивные схемы усиления

а) – металлических балок чердачного перекрытия; б) – металлических подкрановых балок

1 – предварительно напряженная ванта; 2 – усиливаемая конструкция; 3 – уст-ва для преднапряжения.

Костюк Ольга Васильевна, аспирант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.