



(19)-0390-1

ФЕРМЫ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СТАЛЬНЫХ ГНУТО-СВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ, ЗАПОЛНЕННЫХ БЕТОНОМ

И. М. Гаранжа¹, П. В. Зенкин²

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
университет»,

26, Ярославское шоссе, г. Москва, Россия, 129337.

E-mail: ¹ garigo@mail.ru, ² pz2603@mail.ru

Получена 01 марта 2019; принята 22 марта 2019.

Анотация. В статье рассматривается вопрос целесообразности использования в качестве покрытия зданий конструкций стропильных ферм типа «Молодечно» с верхним сжатым поясом, выполненных на основе холодногнутого стальных профилей, заполненных бетоном по критериям общей устойчивости ее элементов, жесткости фермы в целом, а также металлоемкости и веса конструкции покрытия. Используя метод конечных элементов, реализованный в программном комплексе SCAD, получены расчетные усилия в элементах верхнего пояса фермы, которые стали основой для подбора их сечений в классическом стальном и трубобетонном вариантах, исходя из требований общей устойчивости при сжатии и изгибной жесткости фермы. Учитывая конструктивные особенности работы узлов ферм из гнуто-сварных профилей, оценена возможность уменьшения сечения верхнего пояса ферм за счет добавления в них бетона. Задача снижения материалоемкости имеет два пути решения: снижение толщины профиля при неизменных габаритах либо уменьшение высоты и ширины профиля. На основании полученных результатов выявлена степень снижения затрат стали на фермы и увеличения ее веса в связи с появлением бетона. Выдвинуты предположения о направлениях проведения дальнейших углубленных исследований в изучении действительной работы и напряженно-деформированного состояния трубобетонных ферм.

Ключевые слова: стальные фермы, холодногнутые сварные профили, трубобетонные конструкции, общая устойчивость сжатых элементов, жесткость фермы, металлоемкость.

ФЕРМИ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ СТАЛЕВИХ ГНУТО-ЗВАРНИХ ПРОФІЛІВ, ЗАПОВНЕНИХ БЕТОНОМ

І. М. Гаранжа¹, П. В. Зенкін²

ФДБОЗ ВО «Національний дослідницький Московський державний будівельний університет»,

26, Ярославське шосе, м. Москва, Росія, 129337.

E-mail: ¹ garigo@mail.ru, ² pz2603@mail.ru

Отримана 01 березня 2019; прийнята 22 березня 2019.

Анотація. У статті розглядається питання доцільності використання як покриття будівель конструкцій ферм типу «Молодечно» зі стисненим верхнім поясом, виконаних на основі сталевих холодногнутих зварних профілів, заповнених бетоном за критеріями стійкості її елементів, жорсткості ферм, металоемкості та загальної ваги конструкції покриття. Використовуючи метод кінцевих елементів, реалізований в програмному комплексі SCAD, отримані розрахункові зусилля в елементах пояса ферми, які стали основою для підбору їх поперечних перерізів в класичному сталевому і трубобетонному варіантах, виходячи з вимог загальної стійкості при стиску та згинальної жорсткості ферми. Враховуючи

конструктивні особливості роботи вузлів ферм з гнуто-зварних профілів, оцінювали можливість зменшення розмірів перерізів верхнього поясу ферм за рахунок додавання в них бетону. Задача зниження матеріаломісткості має два шляхи вирішення: зниження товщини профілів при незмінних габаритах перерізів або зменшення висоти і ширини профілів при постійній товщині стінки. На основі отриманих результатів виявлено ступінь зниження витрат матеріалу на ферми і збільшення її ваги у зв'язку з появою бетону. Висунуто припущення щодо шляхів проведення подальших більш поглиблених досліджень у напрямку вивчення реальної роботи та напружено-деформованого стану трубобетонних ферм.

Ключові слова: сталеві ферми, гнуто-зварні профілі, трубобетонні конструкції, загальна стійкість стиснених елементів, жорсткість ферми, металоємкість.

COATING TRUSSES ON THE BASIS OF STEEL BENT-WELDED PROFILES FILLED WITH CONCRETE

Igor Garanzha , Pavel Zenkin ₂

Moscow State National Research University of Civil Engineering,

26, Yaroslavskoye shosse, Moscow, Russia, 129337.

E-mail: ¹ garigo@mail.ru, ² pz2603@mail.ru

Received 01 March 2019; accepted 22 March 2019.

Abstract. The article considers the question of the using expediency of «Molodechno»-type truss structures as a covering for buildings with an upper compressed belt made on the basis of cold-formed steel profiles filled with concrete according to the criteria of overall stability of its elements, the truss rigidity as a whole, and metal intensity and weight of coating structures. Using the finite element method implemented in the SCAD, software package, it was obtained the design forces in the elements of the upper truss belt, which became the basis for the selection of their cross sections in the classic steel and pipe-concrete variants based on the requirements of the overall stability under compression and flexural rigidity of the truss. Considering the design features of the truss joints operation of bent-welded profiles, it has been evaluated the possibility of reducing the cross section of the upper truss belt by adding concrete to them. The task of reducing material consumption has two ways to solve: reducing the profile thickness at constant dimensions, or reducing the height and width of the profile with constant wall thickness. On the basis of the obtained results it is revealed the degree of reduction of steel costs for trusses and increase in its weight, due to the appearance of concrete. It was made assumptions about the directions for further in-depth researches in the study of actual work and the stress-strain state of pipe-concrete trusses.

Keywords: steel trusses, cold-formed welded section, concrete-filled pipes, overall stability of compressed elements, truss rigidity, material consumption.

Введение

Современное строительство характеризуется увеличением высоты сооружений и пролетов перекрытий. Это требует применения стержней, обладающих высокой несущей способностью при малых поперечных сечениях. Одним из решений этой проблемы является применение трубобетонных конструкций [8–10, 13–15]. В статье представлены результаты анализа изменения несущей способности, жесткости и материалоемкости стержневых конструкций покрытия зданий с использованием пустотелых и заполненных бетоном стальных

ГСП на основании существующих отечественных и зарубежных методик [1, 3–7, 11, 13–15].

Методика проведения исследований

В данной статье рассмотрены фермы типа «Молодечно» пролетами $L = 18$ и 24 м, высота ферм $H = 2$ м, сталь С245, заполнение сжатого пояса – бетон В12,5. Механические характеристики материалов приняты в соответствии с [1–4]. Ферма рассчитана на основные сочетания нагрузок. Снеговая нагрузка принята для Петропавловска-Камчатского: 8 район [16]. Статический расчет ферм, в результате

которого получены усилия в стержнях верхнего пояса и подбирались поперечные сечения, выполнен в программном комплексе SCAD Soft 21 согласно рекомендациям [17].

Используя методику [1], проверена возможность применения подобранных сечений элементов ферм, учитывая особенности работы узлов ферм из ГСП. В результате расчета определялись:

Несущая способность стенки пояса на продавливание и вырывание

В случае одностороннего примыкания к поясу двух элементов решетки или более с усилиями разных знаков (рис. 1а), а также одного элемента в опорных узлах (рис.1б), следует проверять для каждого примыкающего элемента по формуле:

$$\frac{|N| + 1.5|M|}{d_b} \leq \frac{\gamma_c \gamma_d \gamma_D R_y t^2 (b + c + \sqrt{2Df})}{(0.4 + 1.8 \frac{c}{b}) f \sin \alpha}, \quad (1)$$

где γ_d – коэффициент влияния знака усилия в примыкающем элементе, принимаемый равным 1,2 при растяжении и 1,0 – в остальных случаях;

γ_D – коэффициент влияния продольной силы в поясе;

b – длина участка линии пересечения примыкающего элемента с поясом в направлении оси пояса;

c – половина расстояния между смежными стенками соседних элементов решетки или поперечной стенкой раскоса и опорным ребром.

Несущая способность стенки пояса в месте примыкания сжатого элемента решетки

Следует проверять по формуле:

$$N \leq \frac{2\gamma_c \gamma_i k R_y t d_b}{\sin \alpha}, \quad (2)$$

где γ_i – коэффициент влияния тонкостенности пояса, для отношений $D/t \geq 25$ принимаемый равным 0,8, в остальных случаях – 1,0;

k – коэффициент, принимаемый в зависимости от тонкостенности пояса D/t и расчетного сопротивления стали R_y по формулам, соответствующим трём областям, приведенным на рисунке 2.

Несущая способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу

Следует проверять по формуле:

$$|N| + \frac{0.5|M|}{d_b} \leq \frac{\gamma_c \gamma_d k R_{yd} A_d}{1 + 0.013 \frac{D}{t}}, \quad (3)$$

где R_{yd} – расчетное сопротивление стали элемента решетки;

A_d – площадь поперечного сечения элемента решетки;

t – толщина стенки элемента решетки.

Несущая способность сварных швов крепления решетки к поясу

$$|N| + \frac{0.5|M|}{d_b} \frac{0.75 + 0.01 \frac{D}{t}}{\beta_f k_f \left(\frac{2b_d}{\sin \alpha + \beta} \right)} \leq \gamma_c R_{wf} \gamma_{wf}. \quad (4)$$

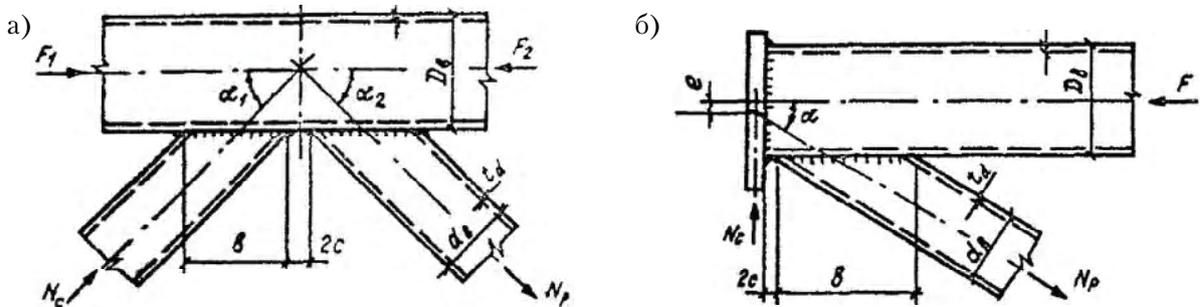


Рисунок 1. Конструктивные узлы ферм на основе ГСП : а – расчетная схема промежуточного узла фермы из ГСП; б – расчетная схема опорного узла фермы из ГСП.

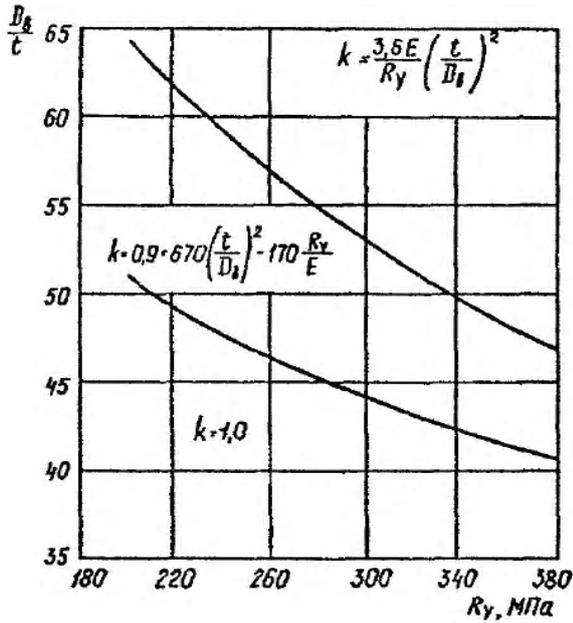


Рисунок 2. К определению коэффициента k .

Результаты расчета в виде цветового отображения усилий в стержнях приведены на рисунке 3.

Расчетные схемы приняты в виде однопролетных статически определимых ферм (рис. 4,5).

При добавлении бетона в верхний пояс становится ясно, что такие факторы, как продавливание пояса и потеря устойчивости его стенок не являются определяющими, и наиболее приоритетным становится вопрос вырывания участка пояса.

Задача снижения материалоемкости имеет два пути решения: снижение толщины профиля при неизменных габаритах, либо уменьшение высоты и ширины профиля. В результате, возможное изменение пояса не дало возможности варьировать одной лишь толщиной, и, в дальнейшем, подбирались трубобетонные элементы сечением из квадратного профиля минимального размера, проходящие по вырыванию стенки и несущей способности по каждой из существующих методик. Однако конструктивные особенности фермы из ГСП не позволяют сделать ширину пояса меньше или равной ширине раскоса.

Существующие методики расчета трубобетонных элементов при центральном сжатии

Методика [4]:

- Определяется расчетное сопротивление бетона в трубе по формуле:

$$R_b^* = 0.65B(1 + 16.1\mu_{pb}\beta), \quad (5)$$

где B – класс бетона;

$\mu_{pb} = (D/d)^2 - 1$ – коэффициент армирования бетона;

D – наружный диаметр трубы;

$d = D - 2t$ – диаметр бетонного ядра;

β – коэффициент, зависящий от класса бетона на прочность при сжатии.

- Определяется несущая способность колонны (продольная сила, которую сможет выдержать колонна):

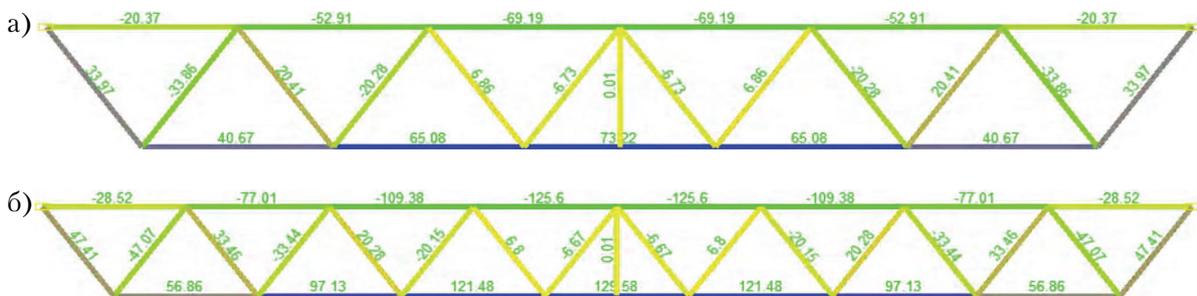


Рисунок 3. Результаты расчета ферм в ПК SCAD (продольные усилия N , кН): а – цветовое отображение значений продольных усилий фермы пролетом 18 м; б – цветовое отображение значений продольных усилий фермы пролетом 24 м.

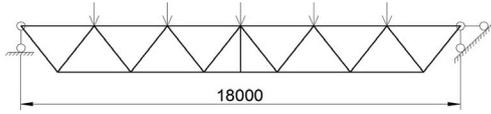


Рисунок 4. Расчетная схемы фермы пролётом 18м: пролет 18 м; сжатый пояс – 160×8; растянутый пояс – 140×6; опорный раскос – 120×6; другие элементы решетки – 100×4; стойка – 80×3.

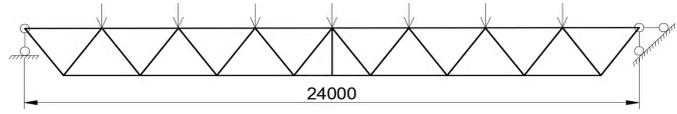


Рисунок 5. Расчетная схемы фермы пролётом 24м: пролет 24 м; сжатый пояс – 200×11,5; растянутый пояс – 180×10; опорный раскос – 140×6; другие элементы решетки – 120×6; стойка – 80×3.

$$N_{stb} = \gamma_{bs} (R_b^* A_b + \gamma_{s2} R_y A_{st}), \quad (6)$$

где γ_{bs} – коэффициент условия работы бетона и трубы;

R_b^* – расчетное сопротивление бетона в трубе;

γ_{s2} – коэффициент условий работы стали трубы, учитывающий снижение расчетного сопротивления стали при сложном напряженном состоянии;

A_b – площадь сечения бетонного ядра;

R_y – расчетное сопротивление стали;

A_{st} – площадь поперечного сечения трубы.

Методика нормативного документа «ЦНИИпроектстальконструкция» [5]

Несущая способность сжатой трубобетонной колонны определяется выражением:

$$N \leq N_{per} = \phi \gamma_{bs} (R_b^* A_b + \gamma_{s2} R_s A_s), \quad (7)$$

здесь ϕ – коэффициент продольного изгиба;

R_b^* – расчетное сопротивление бетона в трубобетоне:

$$R_b^* = 0.65B(1 + \mu_{pb}\alpha);$$

где $\alpha = 0,35$;

B – класс бетона по прочности,

μ_{pb} – коэффициент армирования.

Методика [3]

Расчет производится по формуле:

$$N_{ult} = R_{pc} A_p + R_{bp} A_b, \quad (8)$$

$$\text{здесь } R_{pc} = R_y - \frac{R_y}{4} \left(1 - \frac{7.5e}{D_p - 2t_p} \right);$$

$$R_{bp} = R_b - \Delta R_b \left(1 - \frac{7.5e}{D_p - 2t_p} \right),$$

$$\Delta R_b = R_b \left(2 + 2.52e^{\frac{1}{c}(R_p A_p + R_b A_b)} \right) \frac{t_p}{D_p - 2t_p} \frac{R_p}{R_b}.$$

Приведение трубобетонного сечения к стали [1, 8, 10]

Согласно этому подходу составное поперечное сечение трубобетонной колонны приводится к одному материалу – стали.

При расчете в упругой стадии принимается площадь стали A_s , площадь бетона A_b . Расчетное сопротивление стали R_s , бетона R_b . Коэффициент приведения $\eta = E_b/E_s = 0,11$.

Расчет производится по формуле:

$$\frac{N}{A_n} \leq R_n \gamma. \quad (9)$$

Расчет как железобетонной конструкции с жестким армированием [5]

Расчет производится по формуле:

$$N_0 \leq AR_b \gamma_{b1} + A_{s.tot} R_{sc}. \quad (10)$$

Методика, предложенная китайскими учеными Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Yuting Li для расчета прочности и устойчивости трубобетонных элементов с произвольным поперечным сечением (включая пустотелые трубы) при осевом нагружении [14]

Расчет несущей способности исходя из требований общей устойчивости стержня производится по формуле:

$$N_{st} = \phi_{sc} f_{sc} A_{sc} = \phi_{sc} \left(1 + 0.5k_e \frac{\xi}{1 + \xi} \right) \times (f_y A_s + f_{ck} A_c), \quad (11)$$

здесь $\xi = \frac{A_s f_y}{A_c f_{ck}}$,

где A_s – площадь поперечного сечения стального профиля;

A_c – площадь поперечного сечения бетонного ядра;

f_y – расчетное сопротивление стали;
 f_{ck} – расчетное сопротивление используемого бетона;

$$k_e = k_h k_n,$$

где $k_n = (n^2 - 4)/(n^2 + 20)$ – коэффициент, учитывающий количество граней сечения;

n – количество граней;

ϕ_{sc} – коэффициент продольного изгиба, величина которого зависит от количества n граней стальной оболочки трубобетонного элемента:

$$\phi_{sc} = \frac{1}{2\lambda_{sc}^2} \times \left(\overline{\lambda_{sc}^2} + K\overline{\lambda_{sc}} + 1 - \sqrt{(\overline{\lambda_{sc}^2} + K\overline{\lambda_{sc}} + 1)^2 - 4\overline{\lambda_{sc}^2}} \right), \quad (11.1)$$

здесь $K = 0.25 - K_h K_n$;

$$\overline{\lambda_{sc}} = \frac{L_0}{\pi} \sqrt{\frac{N_0}{E_{sc} I_{sc}}},$$

где $E_{sc} = (E_c I_c + E_s I_s) / I_{sc}$.

Методика, предложенная Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Chuyuan She для расчета прочности и устойчивости трубобетонных элементов круглого поперечного сечения [13]

$$N_{st} \phi_{sc} \left(1 + 0.5 \frac{\xi}{1 + \xi} \right) (f_y A_s + f_{ck} A_c). \quad (12)$$

Результаты исследования

Для фермы пролетом 18 метров из-за условия вырывания участка пояса и конструктивных особенностей минимально возможное сечение – 140×7. Однако анализ методик показал следующие результаты:

- по методике ДБН согласно проверке на устойчивость удовлетворяет условию трубобетонный профиль сечением 110×7;
- согласно расчету по методике ЦНИИПСК из-за условия устойчивости стержня не представляется возможным использовать сечение меньше, чем 140×7;
- результат расчета стержня как железобетонного элемента с жестким армированием показал невозможность из-за условия устойчивости использования сечения даже 140×7;
- китайская методика для круглого сечения показала большой запас в устойчивости, и возможность использования сечения 80×7;

- согласно китайской методике для полигонального сечения условию устойчивости удовлетворяет сечение 120×7;
- производя расчет стержня, используя характеристики приведенного сечения, убедились, что использование даже сечение 140×7 не представляется возможным из-за условия общей устойчивости;
- методика СП «Сталежелезобетонные конструкции» дала такой же результат, как и китайская методика для полигональных сечений.

Для фермы пролетом 24 метра из-за условия вырывания участка пояса и конструктивных особенностей минимально возможное сечение для большинства методик – 180×10. Однако анализ показал следующие результаты:

- по методике ДБН согласно проверке на устойчивость удовлетворяет условию трубобетонный профиль сечением 180×10;
- согласно расчету по методике ЦНИИПСК из-за условия устойчивости стержня не представляется возможным использовать сечение меньше, чем 180×10;
- результат расчета стержня как железобетонного элемента с жестким армированием показал невозможность из-за условия устойчивости использования сечения даже 180×10;
- китайская методика для круглого сечения показала большой запас в устойчивости, и возможность использования сечения 150×10. Данное сечение, в том числе, прошло по условию вырывания;
- согласно китайской методике для полигонального сечения из-за условия устойчивости не удастся использовать сечение меньше, чем 180×10;
- производя расчет стержня, используя характеристики приведенного сечения, убедились, что использование даже сечение 180×10 не представляется возможным из-за условия общей устойчивости;
- методика СП «Сталежелезобетонные конструкции» дала такой же результат, как и китайская методика для полигональных сечений.

Сравнительная характеристика масс верхнего пояса представлена в таблице 1.

Сравнительная характеристика прогибов фермы представлена в таблице 2.

Выводы

Результаты проведенного исследования показали, что использование трубобетона в качестве элемента верхнего пояса для ГСП ферм данных пролётов не является целесообразным. В последующих исследованиях предполагается проверка возможности использования сталежелезобетона для опорных раскосов, а также провести аналогичные вышеизложенным расчеты для ферм пролётами 30, 36 метров и более, по итогам чего будут делаться выводы, имеет ли свое место бетон в композитных конструкциях покрытия. Кроме того, необходимо изучить влияние появления трубобетонного пояса на надежность и живучесть конструкции

Литература

- СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. – Актуализированная редакция СНиП II-23-81* ; введ. 2011-05-20. – М. : Минстрой России, 2011. – 254 с.
- СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Правила проектирования. – Актуализированная редакция СНиП 51-01-2033 ; введ. 2013-01-01. – М. : Минстрой России, 2012. – 152 с.
- СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. – Введ. 2017-07-01. – М. : Минстрой России, 2016. – 133 с.
- ДБН В.2.6-160:2010. Сталізалізобетонні конструкції. Основні положення. – Надано чинності 2011-09-01. - К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 99 с.
- Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой / НИЖБ, ЦНИИПромзданий. – М. : Стройиздат, 1978. – 54 с.
- Стороженко, Л. И. Железобетонные конструкции с внешним армированием / Л. И. Стороженко. – К. : УМКО ВО, 1989. – 98 с.
- Стороженко, Л. И. Сравнение методик расчета трубобетонных конструкций / Л. И. Стороженко, А. В. Семко // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. – Полтава : ПолНТУ, 2005. – Т. 13 (63). – С. 59–67.
- Стороженко, Л. И. Трубобетонные конструкции / Л. И. Стороженко. – К. : Будивельник, 1978. – 81 с.
- Стороженко, Л. И. Расчет трубобетонных конструкций / Л. И. Стороженко, П. И. Плахотный, А. Я. Черный. – К. : Будивельник, 1991. – 120 с.
- Кикин, А. И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном / А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Труль. – М. : Стройиздат, 1974. – 144 с.

Таблица 1. Массы ферм пролетами 18 и 24 м

18 метров	24 метра
Без бетона: 656.28 кг	Без бетона: 1 526.64 кг
С бетоном: 1 199.6 кг	С бетоном: 2 715.4 кг

Таблица 2. Прогибы ферм пролетами 18 и 24 м

18 метров	24 метра
Без бетона: 39.7 мм	Без бетона: 63.9 мм
С бетоном: 37.8 мм	С бетоном: 59.6 мм

покрытия, а также изменение ее динамических характеристик, рассматривая бетон как возможный вариант демпфера при необходимости гашения колебаний фермы.

Reference

- SP 16.13330.2011. Steel construction. – Updated edition of SNIP II-23-81* ; enter 2011-05-20. – M. : Ministry of Russia, 2011. – 254 p. (in Russian)
- SP 63.13330.2012. Concrete and reinforced concrete structures. Design rules. – Updated edition of SNiP 51-01-2033 ; enter 2013-01-01. - M. : Ministry of Russia, 2012. – 152 p. (in Russian)
- SP 266.1325800.2016. Structural composite structures. Design rules. – Enter 2017-07-01. – Moscow: Ministry of Russia, 2016. – 133 p. (in Russian)
- DBN B.2.6-160: 2010. Steel-concrete constructions. Substantive provisions. – Ended on 01/01/2011. – K. : Minregionstroy of Ukraine, 2010. – 99 p. (in Ukrainian)
- Guidelines for the design of reinforced concrete structures with rigid reinforcement / NIZHB, TSNIIPrezdany. – M. : Stroiizdat, 1978. – 54 p. (in Russian)
- Storozhenko, L. I. Reinforced concrete structures with external reinforcement / L. I. Storozhenko. – K. : UMKO VO, 1989. – 98 p. (in Russian)
- Storozhenko, L. I., Semko, A. V. Comparison of methods for calculating concrete structures / L. I. Storozhenko, A. V. Semko // In : *Utilities of cities. Scientific and technical collection.* - Poltava : PolNTU, 2005. – T. 13 (63). – P. 59–67. (in Russian)
- Storozhenko, L. I. Pipe-and-concrete structures / L. I. Storozhenko. - K. : Budivnik, 1978. - 81 p. (in Russian)
- Storozhenko, L. I. Calculation of pipe-concrete structures / L. I. Storozhenko, P. I. Plakhotny, A. Ya. Cherny. – K. : Budivelnik, 1991. – 120 p. (in Russian)
- Kikin, A. I. Constructions of steel pipes filled with concrete / A. I. Kikin, R. S. Sanzharovsky, V. A. Trull. – M. : Stroyizdat, 1974. – 144 p. (in Russian)

11. Семко, О. В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій / О. В. Семко. – К.: Сталь, 2004. – 318 с.
12. Mander, J. B. Theoretical stress-strain model for confined concrete / J. B. Mander, J. N. Priestley, R. Park // *Engineering Structures*. 1989. Vol. 11. P. 1804–1825.
13. A unified formulation for circle and polygon concrete-filled steel tube columns under axial compression / Yu Min, Zha Xiaoxiong, Ye Jianqiao, Li Yuting // *Engineering Structures*. 2013. Vol. 49. P. 1–10.
14. A unified formulation for hollow and solid concrete-filled steel tube columns under axial compression / Yu Min, Zha Xiaoxiong, Ye Jianqiao, She Chunyan // *Engineering Structures*. 2010. Vol. 32(4). P. 1046–1053.
15. Garanzha, I. M. About approaches to the calculation of composite tubes in Ukraine and abroad / I. M. Garanzha // *Metal Constructions*. 2014. Vol. 20, № 1. P. 45–53.
16. СП 20.13330.2017. Нагрузки и воздействия. – Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* ; введ. 2017-06-04. – М.: Минстрой России, 2016. – 113 с.
17. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – К.: Сталь, 2002. – 600 с.
11. Semko, O. V. Probabilistic aspects of calculation of steel reinforced concrete structures / O. V. Semko. – K.: Steel, 2004, – 318 p. (in Ukrainian)
12. Mander, J. B. Theoretical stress-strain model for confined concrete / J. B. Mander, J. N. Priestley, R. Park // In: *Engineering Structures*. 1989. Vol. 11. P. 1804–1825.
13. A unified formulation for circle and polygon concrete filled steel tube columns under axial compression / Yu Min, Zha Xiaoxiong, Ye Jianqiao, Li Yuting // In: *Engineering Structures*. 2013. Vol. 49. P. 1–10.
14. A unified formulation for hollow and solid concrete-filled steel tube columns under axial compression / Yu Min, Zha Xiaoxiong, Ye Jianqiao, She Chunyan // In: *Engineering Structures*. 2010. Vol. 32 (4). P. 1046–1053.
15. Garanzha, I. M. About approaches to the calculation of composite tubes in Ukraine and abroad / I. M. Garanzha // In: *Metal Constructions*. 2014. Vol. 20, № 1. P. 45–53.
16. SP 20.13330.2017. Load and impact. – Updated edition of SNIP 2.01.07-85* ; enter 2017-06-04. - M. : Ministry of Russia, 2016. – 113 p. (in Russian)
17. Perelmuter, A. V. Design models of structures and the possibility of their analysis / A. V. Perelmuter, V. I. Slivker. – K.: Stal, 2002. – 600 p. (in Russian)

Гаранжа Игорь Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Научные интересы: изучение действительной работы, совершенствование конструктивных форм и методик расчета металлических и сталежелезобетонных конструкций.

Зенкин Павел Викторович – студент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Научные интересы: анализ напряженно-деформированного состояния стальных и сталежелезобетонных конструкций покрытия.

Гаранжа Ігор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих та дерев'яних конструкцій ФДБОЗ ВО «Національний дослідницький Московський державний будівельний університет». Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи, вдосконалення конструктивних форм і методик розрахунку металевих і сталезалізобетонних конструкцій.

Зенкін Павло Вікторович – студент ФДБОЗ ВО «Національний дослідницький Московський державний будівельний університет». Наукові інтереси: аналіз напружено-деформованого стану сталевих і сталезалізобетонних конструкцій покриття.

Garanzha Igor – Ph.D. (Engineering Sciences), Associate Professor, Metal and Wooden Structures Department, Moscow State National Research University of Civil Engineering. Scientific interests: studying of actual work, improvement of constructive forms and methods of calculating metal and composite structures.

Zenkin Pavel – student of Structural and Theoretical Mechanics Department of the Moscow State National Research University of Civil Engineering. Research interests: analysis of the stress-strain state of steel and composite structures of the coating.