

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

А. Г. АКОНЯН

ФЕРМЫ С УДЛИНЕННЫМИ РАДИАЛЬНЫМИ ВАНТАМИ

В настоящей статье рассматривается предложенная автором однопролетная вантовая ферма с удлиненными радиальными вантами, в которой балка жесткости обжимается усилиями в вантах фермы. Ферма представляет собой обычную радиально-вантовую систему (рис. 1)

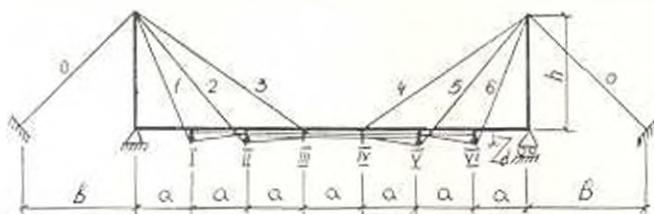


Рис. 1. Схема фермы с удлиненными радиальными вантами.

с оттяжками 0. Ванты 3 и 4 закрепляются в точках III и IV как в обычных системах, а ванты 1, 2, 5, 6 пропускаются под балкой жесткости через подвижные опорные части и закрепляются соответственно в точках I, II, V, VI с некоторым эксцентриситетом. Крепление вант 1, 2, 5, 6 такое, что обеспечивается их горизонтальное перемещение в точках II, III, IV, V.

Для выявления влияния изменения основных параметров указанной системы на величину расчетных усилий система решена в общем виде. При этом приняты следующие обозначения:

EJ — жесткость балки; E_1F — жесткость вант; E_1F_1 — жесткость оттяжек; b — горизонтальная проекция оттяжки; h — высота пилона; d — эксцентриситет пропуска вант под балкой жесткости относительно оси балки; a — длина панели фермы; l_0 — длина оттяжки; l_1, l_{II}, l_{III} — длины соответствующих вант; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — углы наклона вант к горизонту; β_{1a} — углы наклона частей вант, пропущенных под балкой, к горизонту.

Балку жесткости фермы можно представить в виде балки на двух жестких и шести упруго-проседающих опорах. Реакции опор под действием внешней нагрузки выражаются через усилия в вантах. Например, вертикальная реакция во втором узле фермы

$$R_2 = S_2 (\sin \alpha_2 + \sin \beta_{2a}) - S_1 (\sin \beta_{1a} + \sin \beta_{1b} - 2 \sin \beta_{1c}),$$

где S_i — усилие в ванте.

Кроме того, в узлах 1, 2, 5, 6 вследствие эксцентриситета закрепления вант, возникают пары сил

$$M_1 = S_1 \frac{d}{2} \cos \beta_{16}; \quad M_2 = S_2 \frac{d}{2} \cos \beta_{12}.$$

Основная расчетная схема получена введением дополнительных шарниров в балку жесткости в узлах фермы. Системы единичных неизвестных (моменты) и единичной внешней нагрузки разбиты на симметричную и кососимметричную. Получены буквенные выражения усилий S в вантах и оттяжке от единичных неизвестных и подвижной единичной внешней нагрузки. Например, при действии единичного неизвестного момента в первом узле фермы, имеем

$$S_{11} = \frac{2}{a \left(\sin \alpha_1 + \sin \beta_{21} - \frac{d}{2a} \right)};$$

$$S_{12} = \frac{S_{11} \left(\sin \beta_{11} - 2 \sin \beta_{12} + \sin \beta_{16} - \frac{d}{2a} \right) - \frac{1}{a}}{\sin \alpha_2 + \sin \beta_{22} - \frac{d}{2a}};$$

$$S_{21} = \frac{2 S_{11} \sin \beta_{12} + S_{21} \left(\sin \beta_{22} + \sin \beta_{21} - \frac{d}{2a} \right)}{\sin \alpha_3};$$

$$S_{01} = \frac{S_{11} \cos \alpha_1 + S_{21} \cos \alpha_2 + S_{31} \cos \alpha_3}{\cos \alpha}$$

где S_{ik} — усилие в ванте i при действии единичного неизвестного в узле k .

При действии единичной внешней нагрузки в первой панели имеем

$$S_1^{(1)} = \frac{X}{a \left(\sin \alpha_1 + \sin \beta_{12} - \frac{d}{2a} \right)};$$

$$S_2^{(1)} = \frac{S_1^{(1)} \left(\sin \beta_{11} - 2 \sin \beta_{12} + \sin \beta_{16} - \frac{d}{2a} \right)}{\sin \alpha_2 + \sin \beta_{22} - \frac{d}{2a}};$$

$$S_3^{(1)} = \frac{2 S_1^{(1)} \sin \beta_{12} + S_2^{(1)} \left(\sin \beta_{22} + \sin \beta_{21} - \frac{d}{2a} \right)}{\sin \alpha_3};$$

$$S_0^{(1)} = \frac{S_1^{(1)} \cos \alpha_1 + S_2^{(1)} \cos \alpha_2 + S_3^{(1)} \cos \alpha_3}{\cos \alpha}$$

где $S_i^{(k)}$ — усилие в ванте i при действии единичной внешней нагрузки в панели k ; X — расстояние единичной силы от левого шарнира.

Имея выражения усилий в вантах и оттяжке при действии единичных неизвестных и усилий, можно получить выражения для коэффициентов и свободных членов системы канонических уравнений метода сил. Эти коэффициенты учитывают влияние момента в балке жесткости, усилия в вантах, усилия в оттяжке.

Например,

$$c_{11} = \frac{2}{3EJ} a \left[2 + S_{11}^2 \left(\frac{d}{2} \right)^2 + S_2^2 \left(\frac{M}{2} \right)^2 \right];$$

$$f_{11} = \frac{2}{E_1 F_1} (l_{11} S_{11}^2 + l_{11} S_{11}^2 + l_1 S_{11}^2);$$

$$f_{21} = \frac{2}{E_1 F_1} l_0^2 S_{11}^2.$$

Соответствующие свободные члены системы канонических уравнений имеют вид

$$\Delta_{1p} = \frac{2a}{3EJ} \left[S_{11} \cdot S_1^{(1)} \left(\frac{d}{2} \right)^2 + S_1^{(1)} \cdot \frac{d}{2} + S_{11} S_2^{(1)} \left(\frac{d}{2} \right)^2 - \right. \\ \left. - \frac{N(a-N)}{2a} \left(1 - \frac{N}{a} \right) \right];$$

$$\Delta_{1r} = \frac{2}{E_1 F_1} (l_{11} \cdot S_{11}^{(1)} \cdot S_{11} + l_{11} \cdot S_2^{(1)} \cdot S_{21} + l_1 \cdot S_1^{(1)} \cdot S_{11});$$

$$\Delta_{1r} = \frac{2}{E_1 F_1} l_0 \cdot S_0^{(1)} \cdot S_{11}.$$

В полученном решении учтено то обстоятельство, что в некоторых случаях может потребоваться создание предварительного выгиба балки жесткости. Поэтому в выражениях длины вант и тригонометрических функций углов α и β фигурирует величина y_1 — перемещения соответствующего узла фермы при предварительном выгибе балки. Например,

$$l_{11} = \sqrt{4a^2 - (h + d - y_1)^2} - 3a;$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{h + d - y_1}{\sqrt{4a^2 - (h + d - y_1)^2}}, \quad \sin \beta_{11} = \frac{\frac{d}{2} - y_1 - y_1}{\sqrt{a^2 - \left[\frac{d}{2} - (y_1 - y_1) \right]^2}}.$$

Получены общие выражения для усилий в вантах, перемещений (прогибов) узлов фермы и нормальных усилий в балке жесткости. Например, для перемещений точки I :

при расположении нагрузки в первой панели

$$EJy_1^{(1)} = EJy_0^{(1)} a + R_1^{(1)} \frac{a^2}{6} - \frac{(a-x_0)^2}{6};$$

при расположении нагрузки во всех остальных панелях

$$EJy_1^{(n)} = EJy_0^{(n)} a + R_1^{(n)} \frac{a}{6}.$$

В каждом конкретном случае, подставив в полученные выражения численные значения геометрических характеристик и жесткостей

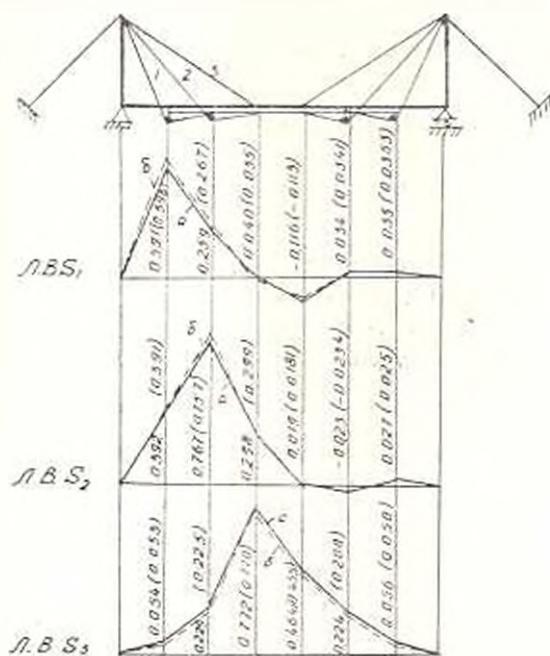


Рис. 2. Линии влияния усилий в вантах предлагаемой системы, полученные: а) экспериментально (сплошная линия), б) расчетом (пунктирная линия).

элементов вантовой фермы и решив их, получим ординаты линий влияния изгибающих моментов и нормальных усилий в балке жесткости, усилий в вантах и перемещений узлов вантовой фермы.

Ввиду трудоемкости вычислительных операций была составлена стандартная программа расчета вантовой фермы на ЦВМ "Наури", при этом в память машины вводились численные значения следующих параметров

$$E, J, E_1, F, F_1, b, h, d, a, y_1.$$

С целью проверки предлагаемого способа расчета была изготовлена и испытана металлическая вантовая ферма пролетом 2,8 м. Ферма нагружалась подвижной нагрузкой и при помощи тензометрического прибора ИСН-20 м измерялись усилия в вантах.

На рис. 2 приведены линии влияния усилий в вантах фермы, полученные экспериментальным путем (сплошные линии) и вычисленные по приведенным выше формулам с помощью ЦВМ. Удовлетворительное совпадение результатов теории с экспериментом говорит о пра-

