

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДВУХПОЯСНЫХ ВАНТОВЫХ ФЕРМ

А.И. Лакизо

(Одесская Государственная Академия Строительства и Архитектуры,

г. Одесса, Украина)

Особенностью вантовых конструкций является то, что их основные несущие элементы испытывают только растягивающие усилия, а это позволяет наиболее полно использовать высокую прочность стальных тросов, из которых они изготавливаются. Это приводит к тому, что масса несущей конструкции относительно мала, конструкции получают наиболее легкими и менее трудоемкими при возведении. Однако, наряду с этими преимуществами они обладают повышенной деформативностью из-за более низких показателей модуля упругости тросов чем у прокатной стали. Кроме этого, в опорных закреплениях вант возникают относительно большие горизонтальные составляющие усилий — распоры, и для их восприятия приходится создавать опорные конструкции, стоимость которых часто составляет значительную часть затрат от стоимости всего покрытия.

Снижение деформативности висячих систем ведется различными путями и прежде всего выбором конструктивной схемы, стабилизирующей положение гибких элементов. Предварительное напряжение существенно понижает деформативность вантовых систем и придает им жесткость. Одним из примеров таких систем могут служить двухпоясные вантовые фермы.

На кафедре металлических, деревянных и пластмассовых конструкций ОГАСА проведены исследования напряженно-деформированного состояния тросовых ферм (рис. 1) и влияния на их состояние различных факторов.

Висячие покрытия, как правило, проектируются пологими ($f/l=1/10...1/20$), вследствие чего усилия в вантах получаются весьма большими. Это существенно влияет на экономичность конструкций опорного контура покрытия, расход материала на ванты и на деформативность покрытия. При анализе работы вантовых систем приходится решать сложную нелинейную задачу, имея при этом дело с многократной статической неопределимостью системы при наличии перемещений кинематических и упругих. В настоящее время рядом авторов [1,2,3] разработаны методы расчета таких вантовых ферм с

введением некоторых упрощений при обеспечении приемлемой точности аналитического расчета.

Изучение влияния различных факторов на деформативность двухпоясных вантовых ферм, экономичность расхода материалов на фермы и на их опорный контур обеспечили бы выбор оптимального решения таких покрытий.

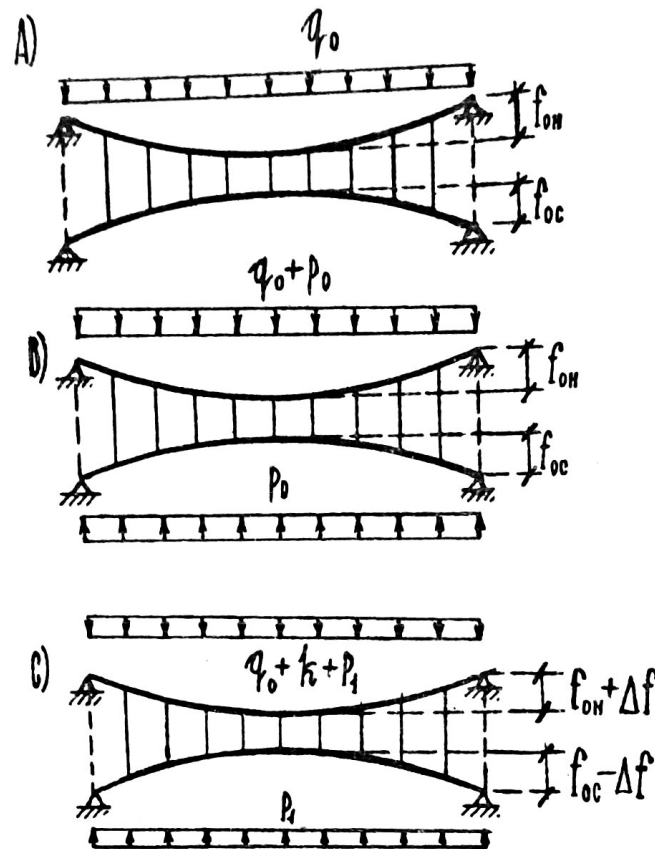


Рис. 1.

В исследованиях применялась схема предварительно напряженной фермы (рис.1). Пояса фермы, расположенные выпуклостью вниз — несущие тросы, воспринимают всю действующую на ферму нагрузку: постоянную q_0 , временную k и усилия предварительного напряжения p_0 , которые создаются натяжными поясами через подвески, соединяющие оба пояса фермы между собой. Предполагается, что усилия предварительного натяжения при любых загрузках не уменьшаются до нуля. После предварительного натяжения, фермы из тросов приобретают необходимую жесткость, а ее вертикальные прогибы Δf при любой нагрузке могут быть получены в пределах допустимых величин. Исследованием таких ферм установлено, что наиболее невыгодно загрузить временной нагрузкой всего пролета фермы или одного полупролета.

При исследовании напряженного состояния вантовых ферм использованы расчетные предпосылки, приведенные в работе В.К. Качурина [1]. В основу расчета положено определение натяжения H_1 троса при изменении нагрузки и горизонтальных смещений δ опорных закреплений тросов:

$$H_1^3 + \left[\frac{EA \int Q_0^2 dx}{2lH_0^2} - H_0 + \frac{\delta EA}{l} \right] H_1^2 - \frac{EA}{2l} \int Q_1^2 dx = 0,$$

где: $H_0 = \frac{(q_0 + p_0)l^2}{8f_0}$ — усилие в тросе до приложения временной нагрузки.

Принимая $H_1 = M_1/(f_0 + \Delta f)$, после преобразований, получено кубическое уравнение для определения величины Δf изменения ординаты троса в зависимости от нагрузки. Учитывая, что величина перемещения Δf по вертикали обычно мала по сравнению с ординатами f_0 начального провисания троса и не превышает обычно $0,004l$, то пренебрежение слагаемыми Δf^3 и Δf^2 дает погрешность, в окончательных результатах расчетов, не более 3...4 % [1]. Полученное таким образом линейное уравнение значительно упрощает вычисления. Неизвестными при этом являются остаточное предварительное напряжение p_1 , после загрузки фермы временной нагрузкой k , и величина вертикального перемещения Δf , которые определяются из решения системы двух уравнений, характеризующих перемещения поясов фермы в вертикальном направлении:

— для несущего троса

$$\Delta f \left[2f_{0H}^2 + \frac{3(q_0 + p_0)l^4}{64EA_H f_{0H}} - \frac{3l\delta_H}{8} \right] - \frac{3lf_{0H}\delta_H}{8} - \frac{3l^4}{64EA_H} (k + p_1 - p_0) = 0,$$

— для стабилизирующего троса

$$\Delta f \left[2f_{0C}^2 + \frac{3p_0 l^4}{64EA_C f_{0C}} \right] + \frac{3l\delta_C}{8} + \frac{3l^4}{64EA_C} (p_1 - p_0) = 0.$$

При загрузке всего пролета фермы временной нагрузкой k натяжения в поясах определяются:

$$\text{— в несущем тросе } H_{1H} = \frac{(q_0 + p_1 + k)l^2}{8(f_{0H} + \Delta f)},$$

$$\text{— в стабилизирующем тросе } H_{1C} = \frac{p_1 l^2}{8(f_{0C} - \Delta f)}.$$

В проведенных исследованиях работы вантовых ферм изучалось влияние:

- жесткости поясов ферм,
- величины горизонтальной податливости δ опорных закреплений тросов,
- стрелки провисания f/l поясов ферм.

Результаты исследований работы вантовой фермы пролетом $l=50$ м представлены на графиках рисунка 2.

На графиках рисунка 2,а показаны деформации Δf фермы при изменении жесткости EA_n несущего троса ($EA_n = 120\ 000$ кН, $180\ 000$ кН и $240\ 000$ кН), с соотношением жесткостей несущего и стабилизирующего тросов $(EA_n / EA_c) = 2$. При этом предполагалось несмещаемость опорных закреплений тросов, $\delta = 0$ от приложения внешней нагрузки. Из полученных результатов видно, что изменения жесткости EA тросов практически не влияют на усилия в них. Увеличение жесткости в два раза дает уменьшение деформаций Δf на 50...70%, в зависимости от величины l/f .

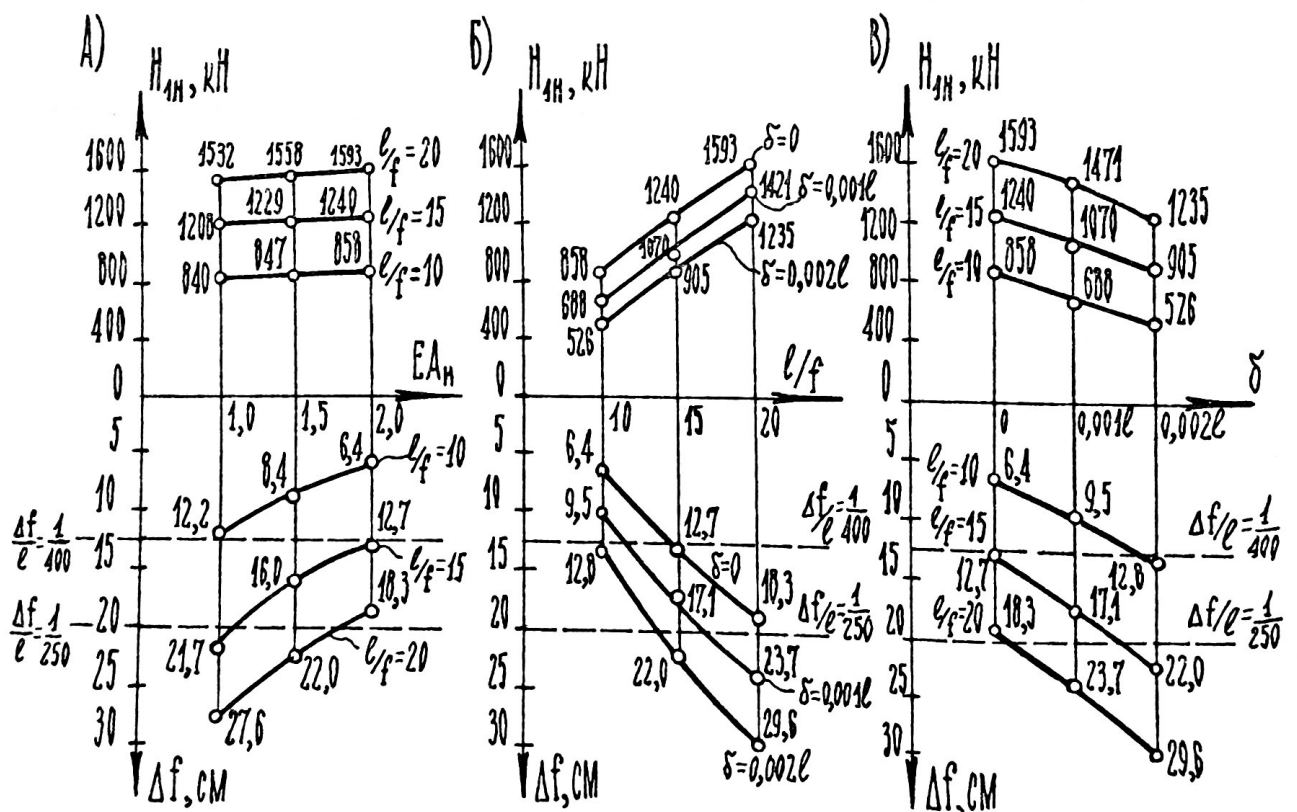


Рис. 2.

На рисунке 2,б представлены изменения деформаций Δf фермы и усилий N_{II} в зависимости от изменения величины l/f_0 . Так, при увеличении отношения l/f_0 в два раза, усилия N_{II} увеличиваются соответственно в 2 раза, а деформации Δf при этом возрастают в 2,5...2,9 раза.

На графиках рисунка 2,в показаны изменения величин N_{II} и Δf в зависимости от горизонтальных смещений опорных закреплений тросов при действии внешних нагрузок на ферму. Из анализа результатов видно, что даже незначительные горизонтальные сближения опорных закреплений тросов — только на $0,001l$ дает приращение вертикальных деформаций Δf фермы на 50 %, усилия N_{II} в тросах при этом изменяются только на 8...20 %.

Исследования напряженно-деформированного состояния проведены для тросовых ферм пролетом $l=50$ м и $l=100$ м. При различии абсолютных значений усилий N_{II} и деформаций Δf , относительные величины зависимостей, показанные на рис. 2, сохраняются для обоих пролетов.

ВЫВОДЫ

1. На напряженно-деформированное состояние вантовых ферм наиболее существенно влияет геометрия контура фермы, т.е. величина l/f_0 и горизонтальная податливость δ опорных закреплений фермы.

2. При проектировании вантовых ферм по графикам, приведенным на рисунке 2, можно на первом этапе расчета более рационально выбрать жесткость тросов EA , величину l/f_0 фермы и жесткость опорного контура. За расчетное усилие в несущем тросе при этом принимается усилие от полного нагружения фермы постоянной и временной нагрузками по всему пролету фермы.

Литература

1. Качурин В.К. Статический расчет вантовых систем. —Л.: ГИЛСА, — 1969.
2. Райнус Г.Э. Статический расчет ферм из тросов. —Л.: ГИЛСА, —1962.
3. Чжоу-Чжао-Хэ. Статический расчет некоторых висячих покрытий. Дисс. на соиск. ученой степени к.т.н. —Л.: ЛИСИ, —1963.