

Аналитический расчет прогиба уличного кронштейна для крепления реклам

Арутюнян Виктория Борисовна
НИУ "МЭИ"
студент

Аннотация

Построена точная математическая модель деформации конструкции для крепления груза (рекламного щита и др.). Конструкция представляет собой плоскую ферму и состоит из двух частей - вертикальной опоры и консоли. Поставлена задача получения зависимости прогиба от числа панелей. Жесткость стержней одинаковая. В системе компьютерной математики Maple методом индукции по решениям для ферм с различным числом панелей получается решение для общего случая. Смещение находится по формуле Максвелла- Мора.

Ключевые слова: ферма, консоль, формула Максвелла - Мора, прогиб, индукция, Maple

Analytical calculation of the deflection street bracket for advertising

Arutyunyan Victoria Borisovna
NRU "MPEI"
Student

Abstract

An exact mathematical model of the deformation of the structure for securing cargo (billboard, etc.) has been built. The design is a flat truss and consists of two parts — a vertical support and a console. The task is to obtain the dependence of the deflection on the number of panels. The stiffness of the rods is the same. In the system of computer mathematics Maple by the method of induction on solutions for trusses with different numbers of panels, a solution is obtained for the general case. The offset is found by the Maxwell-Mohr formula.

Key words: truss, the console, the formula of Maxwell – Mohr, deflection, induction, Maple

In the domestic literature there is a large number of works devoted to the derivation of the analytical dependencies of deformations of flat and spatial trusses in the Maple system. In these works, the induction method is used as a working tool. Calculations of more complex structures consisting of articulated trusses are much less. In particular, there are no convenient and accurate formulas for calculating structures used in road constructions for fixing lighting, commercials

and various electronic devices (signs, tracking cameras, etc.). Consider a structure consisting of a vertical truss with m panels in a rack and n panels in the console (Fig. 1). A characteristic feature of the truss is a cruciform lattice.

In the truss $\mu = 4(m + n) + 8$ rods, including three support. To determine the efforts in the rods in an analytical form, we apply the program [1-5], developed in the Maple system, and tested in a number of works [6-9] and others.

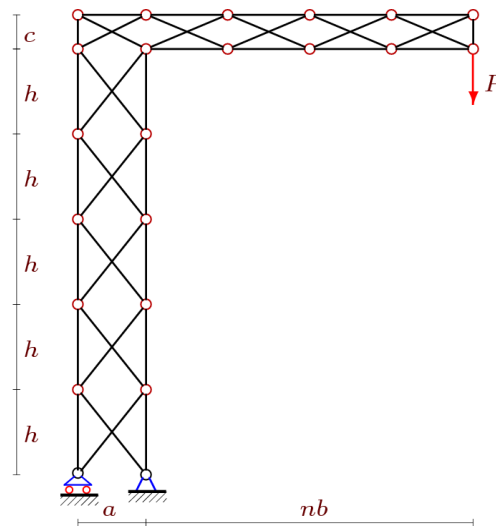


Figure 1— Truss, $n = 4, m=5$

The coordinates of the nodes are entered for arbitrary numbers n and m (Fig.2).

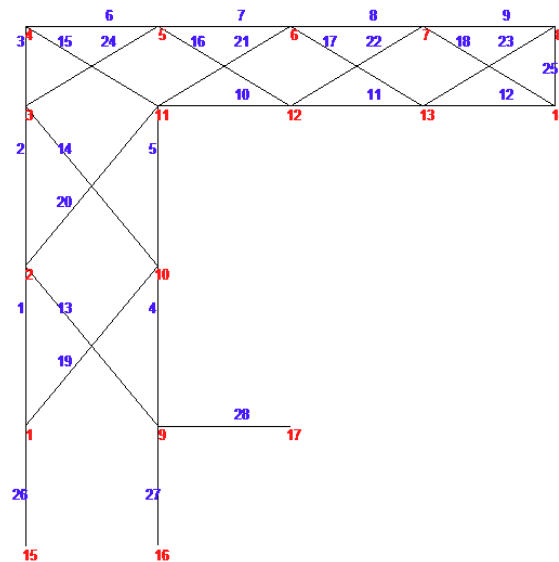


Figure 2— Truss, $n = 3, m=2$

In the language of the Maple system, it looks like this:

```

h_1:=m*h+c:
for i from 1 to m+1
do

```

```

X[i]:=0:Y[i]:=h*i-h;
od:
X[m+2]:=0:Y[m+2]:=h_1:
for i from 1 to n+1
do
X[i+m+2]:=b*i+a-b:Y[i+m+2]:=h_1;
X[i+2*m+n+3]:=b*i+a-b:Y[i+2*m+n+3]:=h_1-c;
od:
for i from 1 to m
do
X[i+m+n+3]:=a: Y[i+m+n+3]:=h*i-h;
od:

```

Solving a system of equilibrium equations in a matrix form is simple

```
G1:=1/G: S1:=G1.B1: # Solution
```

where **s1** is the force vector in the shafts of the truss, **g1** — inverse matrix. Multiplication of a matrix by a vector in the Maple system is performed by a “dot”. Deflection is determined by the well-known formula of Maxwell-Mohr:

$$EF\Delta = P \sum_{i=1}^{u-3} S_i^2 l_i.$$

The following notation is used: S_i — the force from the action of a unit force, EF — the stiffness of the rods, l_i — the length of the rod i . The calculation of a number of structures with different numbers of panels vertically and in the console showed that the deflection always looks like

$$EF\Delta = P(A_n a^3 + C_n c^3 + D_n d^3 + H_{n,m} c^2 h) / c^2. \quad (1)$$

To obtain a general formula suitable for an arbitrary number of panels, you first need to calculate the deflection in a number of trusses with the number of panels $n = 1, 2, 3, \dots$ for some fixed number m . Based on the coefficients in these solutions, we obtain recurrent equations, of which the desired formulas for the coefficients are found. We confine ourselves to the cases $m = 1, 2, 3, 4, 5$.

When $m = 1$, we have the following recurrence equations for the coefficients of the required formula

$$\begin{aligned} A_n &= 4A_{n-1} - 6A_{n-2} + 4A_{n-3} - A_{n-4} \\ C_n &= 2C_{n-1} - 2C_{n-3} + C_{n-4} \\ D_n &= 3D_{n-1} - 3D_{n-2} + D_{n-3} \\ H_n &= 3H_{n-1} - 3H_{n-2} + H_{n-3} \end{aligned}$$

Solutions of these equations using the Maple *rsolve* operator for m from 1 to 5 give the following expressions:

$$\begin{aligned} A_n &= n(n+1)(2n+1)/3, \\ C_n &= n^2 + 0,5(-1)^n + 0,5, \\ D_n &= n(n-1); \end{aligned} \quad (2)$$

$$m=1: H_{n,1} = 2n^2 + 2n + 1,$$

$$m=2: H_{n,2} = 4n^2 + 4n + 2,$$

$$m=3: H_{n,3} = 6n^2 + 6n + 3,$$

$$m=4: H_{n,4} = 8n^2 + 8n + 4,$$

$$m=5: H_{n,5} = 10n^2 + 10n + 5,$$

Thus, the three coefficients of formula (1) do not depend on the number of panels in height and a generalization is required only for the coefficient $H_{n,m}$. In the general case, we obtain the following generalization to an arbitrary number m :

$$H_{n,m} = (2n^2 + 2n + 1)m. \quad (3)$$

These expressions (2), (3) and formula (1) give a solution to the problem.

The method used to obtain the formula was previously used to calculate lattice trusses [2–13], arch type trusses [14–19], and spatial structures of the regular type [20–29]. Analytical solutions for trusses that allow instant variability are calculated in [30–33]. The induction method in [34,35] derived the statics relations of scissor mechanisms. Analytical solutions for Fink or Bolman's type trusses were obtained in [36-40]. The calculation of the deflection of a flat statically definable frame by the induction method was made in [41].

Surveys of papers using the induction method for calculating trusses are contained in [42–44]. The particular solution of the problem of the deflection of the studied bracket is obtained by Orlov I.V. in [45].

References

1. Кирсанов М. Н. Maple и Maplet. Решения задач механики. СПб.: Изд-во Лань, 2012. 512 с.
2. Кирсанов М.Н., Москвин В.Г. Деформации плоской фермы с усиленной решеткой // Строительная механика и расчет сооружений. 2018. №4(279). С.10-14.
3. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет многорешетчатой фермы // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. № 6 (257). С. 2-6.
4. Кирсанов М.Н. К выбору решетки балочной фермы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 3. С. 23-27.
5. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет балочной фермы с решеткой типа "Butterfly" // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. № 4 (267). С. 2-5.
6. Кирсанов М.Н. Формулы для расчета прогиба и усилий в решетчатой ферме//Механизация строительства. 2017. Т. 78. № 4. С. 20-23.
7. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет балочной фермы со сложной решеткой // Строительная механика и расчет сооружений. 2015. № 3 (260). С. 7-12.
8. Кирсанов М.Н. Аналитический метод расчета прогиба плоской фермы со сложной решеткой шпренгельного типа // Транспортное строительство.

2017. № 5. С. 11-13.
9. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет рамы с произвольным числом панелей // Инженерно-строительный журнал. №6(82). С. 127–135.
 10. Кирсанов М.Н. Статический расчет плоской фермы с двойной треугольной решеткой // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2017. № 11 (248). С. 32-36.
 11. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет регулярной балочной фермы с произвольным числом панелей со сложной решеткой // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. № 3 (266). С. 16-19.
 12. Белянкин Н.А., Бойко А.Ю., Кирсанов М.Н. Аналитический расчет прогиба балочной фермы с усиленной треугольной решеткой // Строительство и архитектура. 2017. Т. 5. № 2. С. 122-125.
 13. Кирсанов М.Н., Горбунова А.С., Лепетюха В.А. Расчет прогиба симметричной фермы с решеткой "Star" в аналитической форме // Строительная механика и конструкции. 2017. Т. 1. № 14. С. 36-41.
 14. Кирсанов М.Н. Индуктивный анализ деформации арочной фермы // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. Т. 14. № 1. С. 64-70.
 15. Кирсанов М.Н. Аналитическое исследование деформаций плоской фермы арочного типа // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2015. № 3 (31). С. 42-48.
 16. Кирсанов М.Н. Сравнительный анализ жесткости двух схем арочной фермы // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 9 (36). С. 44-55.
 17. Кирсанов М.Н. Формулы для расчета деформаций арочной фермы с произвольным числом панелей // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. 4 (67). С. 86-94. doi: 10.18720/CUBS.67.7
 18. Кирсанов М.Н. Формулы для расчета прогиба арочной фермы // Строительная механика и конструкции. 2018. Т. 1. № 16. С. 7-11.
 19. Кирсанов М.Н. Аналитическая оценка прогиба и усилий в критических стержнях арочной фермы // Транспортное строительство. 2017. № 9. С. 8-10.
 20. Кирсанов М.Н. Анализ прогиба фермы прямоугольного пространственного покрытия // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 1 (53). С. 32-38.
 21. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет и оптимизация пространственной балочной фермы // Вестник Московского энергетического института. 2012. № 5. С. 5-8.
 22. Кирсанов М.Н. Анализ зависимости прогиба фермы прямоугольного покрытия от числа панелей // Строительная механика и конструкции. 2018. №4(19). С. 52-57
 23. Кирсанов М.Н. Статический расчет и анализ пространственной стержневой системы // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 6 (24). С. 28-34.
 24. Кирсанов М.Н. Оценка прогиба и устойчивости пространственной

- балочной фермы // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. № 5 (268). С. 19-22.
25. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет пространственной стержневой системы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2012. № 1. С. 49-53.
26. Кирсанов М.Н. Напряженное состояние и деформации прямоугольного пространственного стержневого покрытия // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2016. № 1 (41). С. 93-100.
27. Кирсанов М.Н. Учет строительного подъема в аналитическом расчете пространственной балочной фермы // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2014. Т. 4. № 2 (20). С. 36-39.
28. Леонов П.Г., Кирсанов М.Н. Аналитический расчет и анализ пространственной стержневой конструкции в системе Maple // В сборнике: Информатизация инженерного образования ИНФОРИНО-2014 Труды международной научно-методической конференции. 2014. С. 239-242.
29. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет прогиба пространственного прямоугольного покрытия // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 5 (116). С. 579-586.
30. Кирсанов М.Н. Расчет пространственной стержневой системы, допускающей мгновенную изменяемость // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. № 3 (242). С. 48-51.
31. Кирсанов М.Н. Вывод формулы для прогиба решетчатой фермы, имеющей случаи кинематической изменяемости // Строительная механика и конструкции. 2017. Т. 1. № 14. С. 27-30.
32. Кирсанов М.Н., Тиньков Д.В. Аналитическое решение задачи о частоте колебания груза в произвольном узле балочной фермы в системе Maple // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. Вып. 4. Ст. 3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.4.3.
33. Кирсанов М.Н. Формула для прогиба и анализ кинематической изменяемости решетчатой фермы // Строительная механика и конструкции. 2017. Т. 2. № 15. С. 5-10.
34. Кийко Л.К., Кирсанов М.Н. Аналитический расчет подъемника параллелограммного типа с произвольным числом секций // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2016. № 3. С. 48-53.
35. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет параллелограммного механизма с произвольным числом секций // Вестник машиностроения. 2018. № 1. С. 37-39.
36. Пережилова Е.Д. Точное решение задачи о смещении подвижной опоры фермы с произвольным числом панелей // Научный альманах. 2016. № 9-2(23). С. 42-45.
37. Савиных А.С. Формула для расчета смещения подвижной опоры плоской статически определимой фермы // Научный альманах. 2016. № 9-2(23). С.

- 46-49.
- 38.Харик С.А. Индуктивный метод для расчета прогиба плоской статически определимой фермы, загруженной в середине пролета // Научный альманах. 2016. № 11-2(25). С. 332-334
- 39.Васильченко Д.И. Формула для смещения опоры балочной фермы типа Больмана // Научный альманах. 2016. N 8-1(22). С. 261-263.
- 40.Васильков И.Д., Кирсанов М.Н. Формулы для определения прогиба и смещения опоры фермы Больмана с произвольным числом панелей // Научный альманах. 2016. N11-2(25). С. 289-292.
- 41.Кирсанов М.Н. Расчетная модель плоской фермы рамного типа с произвольным числом панелей // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 9. С. 1184–1192. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.10.1184-1192
- 42.Тиньков Д.В. Сравнительный анализ аналитических решений задачи о прогибе ферменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2015. №5(57). С. 66–73.
- 43.Осадченко Н.В. Аналитические решения задач о прогибе плоских ферм арочного типа// Строительная механика и конструкции. 2018. №. 1. С.12-33.
- 44.Осадченко Н.В. Расчёт прогиба плоской неразрезной статически определимой фермы с двумя пролётами // Постулат. 2017. №12.
- 45.Орлов И.В. Статический расчет стержневой модели кронштейна для крепления реклам, уличного освещения и электронного оборудования // Постулат. 2018. №12.