

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗАВИСИМОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ КОНСОЛЬНОЙ СТОЙКИ ОТ ЧИСЛА ПАНЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ MAPLE

С. В. Терзе¹

Национальный исследовательский университет "МЭИ"¹
Россия, г. Москва

¹Студент., тел.: +7(909)650-81-04; e-mail: sergeyyterze@rambler.ru

Стойка и консоль плоской статически определимой фермы имеют простую раскосную решетку. Одна опора неподвижная, другая – подвижная. Расчет прогиба конца консоли по формуле Максвелла – Мора в аналитической форме произведен для нагрузки, распределенной по нижнему поясу консоли, и сосредоточенной. Решения для ферм с различным числом панелей в консоли и стойке методом двойной индукции обобщен на произвольное число панелей. Выполнен асимптотический анализ решения. Для получения усилий в символьной форме и решения рекуррентных уравнений, которым удовлетворяют коэффициенты искомых формул, применен аппарат символьных преобразований системы Maple. В решение входят семь геометрических параметров конструкции, модуль упругости стержней одинакового сечения и нагрузка.

Ключевые слова: ферма, индукция, Maple, консоль, прогиб.

Введение

Ферменные конструкции имеют широкое применение в строительстве. Простота конструкции, удобство монтажа и транспортировки элементов конструкции, отлаженные методы расчета выгодно отличают фермы от других видов конструкций. Особенно это проявляется в металлических фермах. Для расчета прочности и деформативности ферм чаще всего используют компьютерные программы, основанные на методе конечных элементов. Некоторые простые статически определимые системы допускают и расчет базовыми методами механики без применения вычислительной техники, например, методом вырезания узлов. Это касается задач, в которых идет расчет конкретных конструкций с заданными нагрузками. Отдельной задачей строительной механики в области аналитических расчетов является задача определения эксплуатационных характеристик ферм с произвольным числом панелей. Как правило, это касается регулярных систем [1]. Большая часть известных решений получено методом индукции [2-4]. Так были найдены формулы для прогиба регулярных арочных ферм [4-17], плоских решетчатых ферм [18-26] и пространственных стержневых систем [27-31]. Этим же методом выводится формула для Г-образного кронштейна с семью независимыми геометрическими параметрами. Ранее формулы для Г-образного кронштейна с различными видами решеток были получены в [32-34]. Точное решение для больших деформаций консольной балки при точечной нагрузке на свободном конце с использованием метода вариационных итераций получено в [35,36]. Получены формулы для углов поворота, а также горизонтальные и вертикальные перемещения консольной балки. Конечные деформации консольных балок изучены в [37-40].

Схема фермы и расчет усилий

Стойка фермы имеет раскосную решетку из m панелей по высоте общей высотой $mh+c$. Консоль длиной nb загружается либо на конце вертикально силой P , либо равномерно распределенной по узлам нагрузкой (рис. 1). Расчет усилий в аналитической форме производится по программе [2], составленной на языке символьной математики Maple.

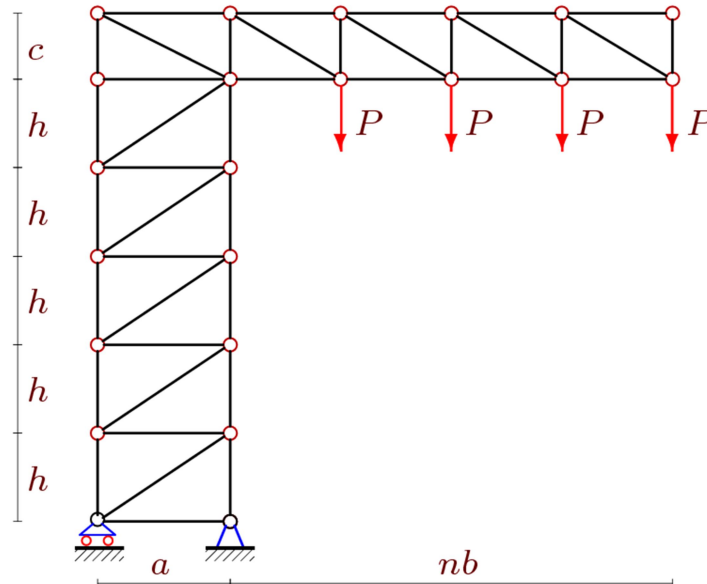


Рис. 1. Консольная стойка, равномерная нагрузка, $n=4$, $m=6$

В программу вводятся данные о ферме с параметрически заданными размерами и числом панелей. Координаты узлов задаются в системе координат с началом в левой (подвижной) опоре. Приведем соответствующий фрагмент программы

```
> H:=m*h-h+c;
> for i to m do
  x[i]:=0: x[i+m+1]:=a:
  y[i]:=h*i-h;y[i+m+1]:=h*i-h;
end;
> x[m+1]:=0: y[m+1]:=H: x[2*m+2]:=a: y[2*m+2]:=H:
> for i to n do
  x[i+2*m+2]:=i*b+a: y[i+2*m+2]:=H-c;
  x[i+2*m+n+2]:=i*b+a: y[i+2*m+n+2]:=H;
end;
```

Структура решетки задается так же, как плоский граф, по номерам концов стержней. Для этого вводятся специальные упорядоченные списки (векторы) \mathbf{N} для каждого стержня, включая три опорные. Для стержней стойки, например, эта часть программы имеет вид

```
> for i to m do
> N[i]:=[i,i+1]; N[i+m]:=[i+m+1,i+m+2];
> od;
```

По данным решетки и координатам узлов составляется матрица системы уравнений равновесия узлов фермы. Решение системы дает формулы для усилий, необходимых для расчета прогиба по формуле Максвелла – Мора

$$\Delta = \sum_{j=1}^{K-3} \frac{S_j s_j l_j}{EF}, \quad (1)$$

где $K=4(m+n+1)$ — число стержней, включая три стержня, моделирующие в расчете опоры, EF — продольная жесткость стержней, S_j — усилия в стержнях фермы при действии внешней нагрузки, s_j — усилия от единичной силы, приложенной к концу консоли, l_j — длина стержня j . В сумму не входят три опорных стержня, принятые жесткими. Распределение усилий в стержнях фермы, отнесенное к величине силы P при равномерном загрузении нижнего пояса, показано на рис. 2. Синим цветом выделены сжатые стержни, красным - растянутые. Толщина отрезков условно пропорциональна модулям усилий. Значения относительных усилий округлены до двух значащих цифр. Наибольшие усилия при таких размерах оказались не в консоли, а в стойке.

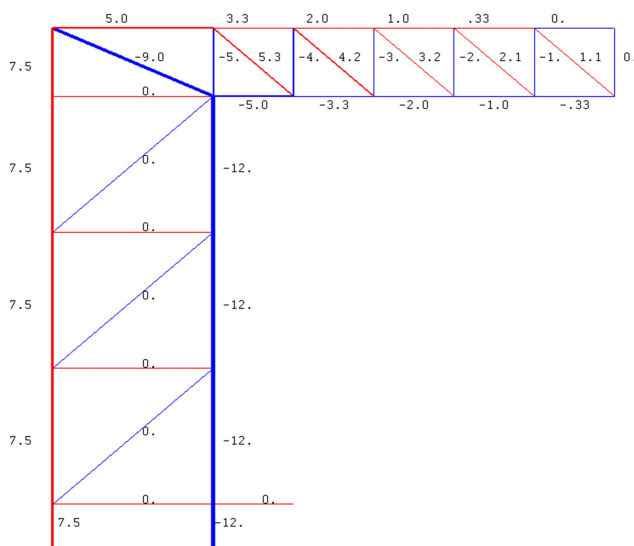


Рис. 2. Распределение усилий, $m=4$, $n=5$, $a = 2$ м, $b = 1$ м, $c = 3$ м, $h = 6$ м

Прогиб

Расчет прогиба в серии ферм с последовательно увеличивающимся числом панелей дает следующую формулу для прогиба конца консоли при действии как сосредоточенной, так и распределенной нагрузки:

$$\Delta(n, m) = \frac{P(C_1 b^2 c^2 h + C_2 b^2 c^3 + C_3 h c^2 b a + C_4 a^2 c^2 h + C_5 a^2 c^3 + C_6 a^2 b^3 + C_7 b^2 a^3 + C_8 a^2 f^3 + C_9 b^2 d^3)}{EFc^2 a^2},$$

где $d = \sqrt{a^2 + c^2}$, $f = \sqrt{b^2 + c^2}$.

Метод двухуровневой индукции сначала по n , а затем по m дает следующие общие члены в случае сосредоточенной нагрузки: $C_1 = 2(m-1)n^2$, $C_2 = n^2$, $C_3 = 2(m-1)n$, $C_4 = m-1$, $C_5 = n$, $C_6 = (2n^3 + n)/3$, $C_7 = n^2$, $C_8 = n$, $C_9 = n^2$.

Для получения этих выражений потребовалось составить, а потом решить однородные рекуррентные уравнения степени не выше четвертой. При этом задействованы операторы `rgf_findrecur` и `rsolve` из пакета `genfunc` системы Maple. Некоторые коэффициенты оказались независимыми от числа m вертикальных панелей, а коэффициент $C_4 = m - 1$ не зависит от числа панелей в консоли. Для проверки индукцию можно выполнить в обратном порядке — сначала по m , потом по n .

Графики полученного решения позволяют проанализировать некоторые его особенности. Построим графики зависимости относительного (безразмерного) прогиба $\Delta' = \Delta EF / (P_0 L)$, где $P = P_0 / n$ от числа панелей n при разных высотах c и длине консоли $L = bn = 5$ м (рис. 3). В такой постановке с увеличением n уменьшается длина панели в консоли, а прогиб сначала уменьшается. При значительных n начнет расти, что становится ясно из положительной линейной асимптотики $\lim_{n \rightarrow \infty} \Delta' / n = 2c / L$.

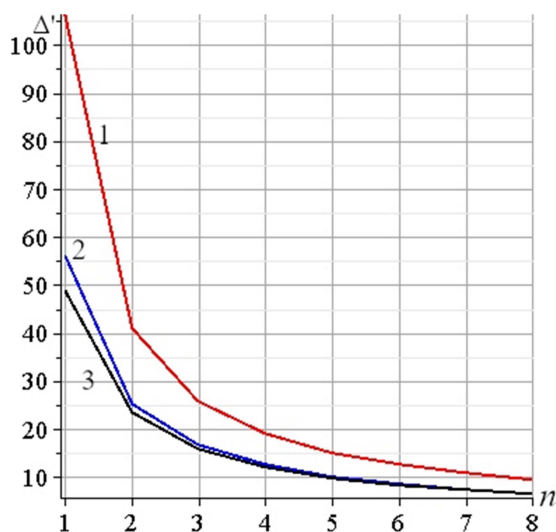


Рис. 3. Зависимость прогиба от числа панелей n при разных c , $L=5$ м.
 1— $c=1$ м; 2— $c=2$ м; 3— $c=3$ м, $m=5$, $h=2$ м, $a=2$ м

В этой же постановке зависимость прогиба от длины консоли представлена кривыми на рис. 4.

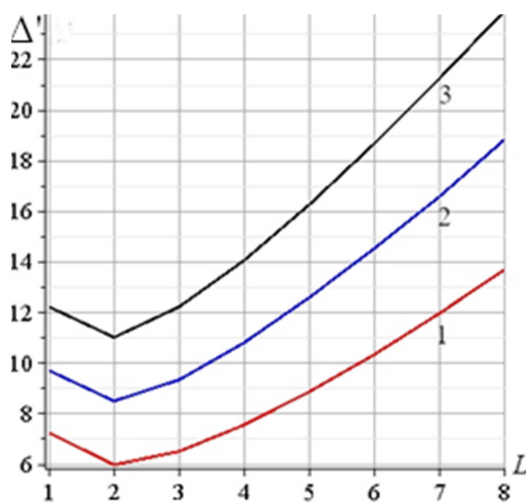


Рис. 4. Зависимость прогиба от пролетов L при разных высотах h , $n=4$.
 1— $h=1$ м; 2— $h=2$ м; 3— $h=3$ м, $m=5$, $c=2$ м, $a=2$ м

Здесь наблюдается явно выраженный минимум прогиба, дающий возможность оптимизировать конструкцию по жесткости подбором ее размеров и числа панелей. На рис. 5 графики прогиба строятся в зависимости от высоты консоли c . Это один из важнейших параметров конструкции, определяющий ее жесткость. Интересно отметить эффект самопересечения кривых, означающий в данном случае, что при $c = 4,5$ м прогиб конструкции на конце консоли при $L=2$ м и $L=3$ м одинаковый.

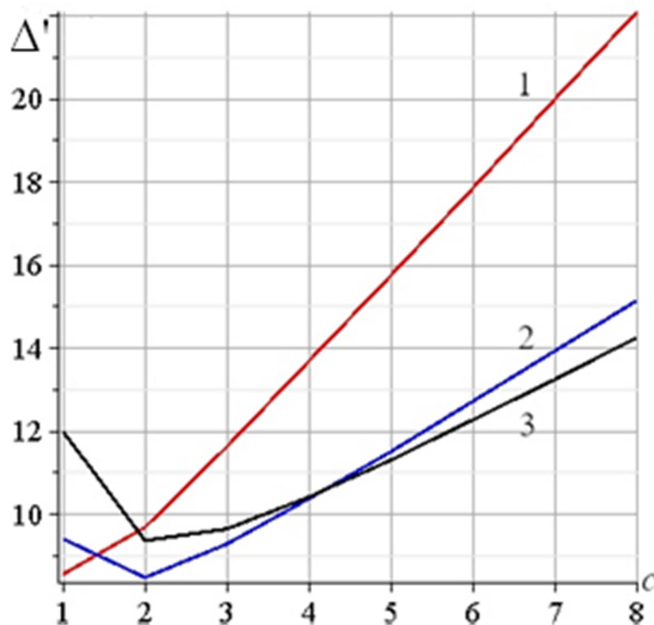


Рис. 5. Зависимость прогиба от c при разных пролетах L , $a=2$ м.
 1— $L=1$ м; 2— $L=2$ м; 3— $L=3$ м, $m = 5$, $h = 2$ м, $n = 4$

Асимптотика решения по числу панелей в стойке m линейная:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \Delta' / m = h(2L^2 + a^2 + 2aL) / (naL).$$

Заключение

Сравнивая полученное решение с аналогичными точными формулами для прогиба балочных ферм [20-21], замечаем, что за счет необычно большого числа параметров расчетная формула здесь существенно более сложная и содержит девять коэффициентов, которые надо определять индукцией. Обычно [13-19] таких коэффициентов не более четырех. С другой стороны, двойная индукция в этой задаче затронула лишь часть коэффициентов, что существенно ускорило расчеты. Полученное решение может служить как некий тест для оценки численного решения этой конструкции, а большое число независимых параметров, входящих в формулу, позволяет использовать ее для широкого класса задач.

Библиографический список

1. Игнатъев В.А. Расчет регулярных стержневых систем – Саратов: Саратовское высшее военно-химическое военное училище, 1973.
2. Кирсанов М.Н. Индуктивный анализ влияния погрешности монтажа на жесткость и прочность плоской фермы // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 5 (31). С. 38-42.
3. Kirsanov M. An inductive method of calculation of the deflection of the truss regular type // Architecture and Engineering. 2016. Т. 1. № 3. С. 14-17.
4. Кирсанов М.Н. Индуктивный анализ деформации арочной фермы// International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. Т. 14. № 1. С. 64-70.

5. Кирсанов М.Н. Сравнительный анализ жесткости двух схем арочной фермы // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 9 (36). С. 44-55.
6. 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.
7. Кирсанов М.Н. Аналитическая оценка прогиба и усилий в критических стержнях арочной фермы // Транспортное строительство. 2017. № 9. С. 8-10.
8. Кирсанов М.Н. Формулы для расчета прогиба арочной фермы // Строительная механика и конструкции. 2018. Т. 1. № 16. С. 7-11.
9. Кирсанов М.Н. Анализ прогиба арочной фермы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 5. С. 50-55.
10. Кирсанов М.Н., Степанов А.С. О зависимости деформаций плоской арочной фермы от числа панелей // Строительная механика и расчет сооружений. 2017. № 5 (274). С. 9-14.
11. Кирсанов М.Н. Формулы для расчета деформаций арочной фермы с произвольным числом панелей // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 4 (67). С. 86-94.
12. Voropai R.A., Kazmiruk I.Yu. Analytical study of the horizontal stiffness of the flat statically determinate arch truss. Bulletin of Scientific Conferences. 2016. № 2-1(6). Pp. 10-12
13. Bolotina T. D. The deflection of the flat arch truss with a triangular lattice depending on the number of panels // Bulletin of Scientific Conferences. 2016. № 4-3(8). P.7-8.
14. Kazmiruk I.Yu. On the arch truss deformation under the action of lateral load // Science Almanac. 2016. No. 3-3(17). Pp. 75-78.
15. Rakhmatulina A.R., Smirnova A.A. The dependence of the deflection of the arched truss loaded on the upper belt, on the number of panels // Научный альманах. 2017. N 2-3(28). С. 268-271.
16. Воропай Р. А., Доманов Е.В. Вывод общей формулы для сдвига подвижной опоры фермы арочного типа индукцией по двум параметрам в системе Maple // Постулат. 2019. №2. С. 11.
17. Voropay R.A., Domanov E.V. Analytical solution of the problem of shifting a movable support of a truss of arch type in the Maple system // Postulat. 2019. № 1.
18. Kitaev S.S. Derivation of the formula for the deflection of a cantilevered truss with a rectangular diagonal grid in the computer mathematics system Maple // Postulat. 2018. No. 5-1(31).
19. Rakhmatulina A.R., Smirnova A.A. Two-parameter derivation of the formula for deflection of the console truss // Postulat. 2018. No. 5-1(31). ?. 22.
20. Voropay R.A., Domanov E.V. The dependence of the deflection of a planar beam truss with a complex lattice on the number of panels in the system Maple // Постулат. 2019. № 1. С. 12
21. 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.
22. Кирсанов М.Н. К выбору решетки балочной фермы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 3. С. 23-27.
23. Кирсанов М.Н. Расчет жесткости стержневой решетки // Вестник машиностроения. 2015. № 8. С. 48-51.
24. Кирсанов М.Н., Маслов А.Н. Формулы для расчета прогиба балочной многорешетчатой фермы // Строительная механика и расчет сооружений. 2017. № 2 (271). С. 6-10.
25. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет балочной фермы со сложной решеткой // Строительная механика и расчет сооружений. 2015. № 3 (260). С. 7-12.
26. Кирсанов М.Н. Вывод формулы для прогиба решетчатой фермы, имеющей случаи кинематической изменяемости // Строительная механика и конструкции. 2017. Т. 1. № 14. С. 27-30.
27. Кирсанов М.Н. Оценка прогиба и устойчивости пространственной балочной фермы // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. № 5 (268). С. 19-22.
28. Кирсанов М.Н. Аналитическое исследование жесткости пространственной статически определимой фермы // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 2 (101). С. 165-171.
29. Кирсанов М.Н. Особенности аналитического расчета пространственных стержневых систем // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 5 (238). С. 11-15.
30. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет пространственной стержневой регулярной структуры с плоской гранью // Строительная механика и расчет сооружений. 2015. № 2 (259). С. 2-6.

31. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет прогиба пространственного прямоугольного покрытия // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 5 (116). С. 579-586.
32. Кирсанов М.Н. Расчет Г-образной фермы крепления дорожных знаков и оборудования // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. № 1 (53). С. 84-92.
33. Орлов И.В. Статический расчет стержневой модели кронштейна для крепления реклам, уличного освещения и электронного оборудования. Постулат. 2018. №12.
34. Arutyunyan V. B. Analytical calculation of the deflection street bracket for advertising // Postulat. 2019. № 1.
35. Ghaffarzadeh H., Nikkar A. Explicit solution to the large deformation of a cantilever beam under point load at the free tip using the variational iteration method-II // Journal of Mechanical Science and Technology. 2013. Т. 27. №. 11. С. 3433-3438.
36. Wang J., Chen J. K., Liao S. An explicit solution of the large deformation of a cantilever beam under point load at the free tip // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2008. Т. 212. №. 2. С. 320-330.
37. Salehi P., Yaghoobi H., Torabi M. Application of the differential transformation method and variational iteration method to large deformation of cantilever beams under point load // Journal of mechanical science and technology. 2012. Т. 26. №. 9. С. 2879-2887.
38. Kimiaefar A. et al. Analytical solution for large deflections of a cantilever beam under nonconservative load based on homotopy analysis method // Numerical Methods for Partial Differential Equations. 2011. Т. 27. №. 3. С. 541-553.
39. Beléndez T., Neipp C., Beléndez A. Large and small deflections of a cantilever beam // European journal of physics. 2002. Т. 23. №. 3. С. 371.
40. Holden J. T. On the finite deflections of thin beams // International Journal of Solids and Structures. 1972. Т. 8. №. 8. С. 1051-1055

References

1. Ignatiev V.A. Calculation of regular core systems - Saratov: Saratov Higher Military Chemical Military School, 1973.
2. Kirsanov M.N. Inductive analysis of the influence of installation errors on the rigidity and strength of a flat truss. Engineering and Construction Journal. 2012. No. 5 (31). Pp. 38-42.
3. Kirsanov M. An inductive method of calculation of the deflection of the truss regular type. Architecture and Engineering. 2016.V. 1. No. 3. P. 14-17.
4. Kirsanov M.N. Inductive analysis of deformation of an arch truss. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018.V. 14. No. 1. P. 64-70.
5. Kirsanov M.N. A comparative analysis of the rigidity of two arched truss schemes. Construction of unique buildings and structures. 2015. No. 9 (36). Pp. 44-55.
6. Kirsanov M.N. An analytical study of deformations of a flat arch-type truss. Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarova. 2015. No 3 (31). Pp. 42-48.
7. Kirsanov M.N. Analytical assessment of deflection and effort in the critical rods of an arch truss. Transport construction. 2017. No. 9. Pp. 8-10.
8. Kirsanov M.N. Formulas for calculating the deflection of an arch truss. Structural Mechanics and Structures. 2018.Vol. 1. No. 16. Pp. 7-11.
9. Kirsanov M.N. The analysis of the deflection of the arch truss. Construction mechanics of engineering structures and structures. 2017. No. 5. P. 50-55.
10. Kirsanov M.N., Stepanov A.S. About the dependence of deformations of a flat arch truss on the number of panels. Structural Mechanics and Structural Analysis. 2017. No. 5 (274). Pp. 9-14.
11. Kirsanov M.N. Formulas for calculating deformations of an arch truss with an arbitrary number of panels. Construction of unique buildings and structures. 2018. No. 4 (67). Pp. 86-94.
12. Voropai R.A., Kazmiruk I.Yu. Analytical study of the horizontal stiffness of the flat statically determinate arch truss. Bulletin of Scientific Conferences. 2016. No. 2-1 (6). Pp. 10-12.
13. Bolotina T. D. The deflection of the flat arch truss with a triangular lattice depending on the number of panels. Bulletin of Scientific Conferences. 2016. No. 4-3 (8). P.7-8.

14. Kazmiruk I.Yu. On the arch truss deformation under the action of lateral load. Science Almanac. 2016.No. 3-3 (17). Pp. 75-78.
15. Rakhmatulina A.R., Smirnova A.A. The dependence of the deflection of the arched truss loaded on the upper belt, on the number of panels. Scientific Almanac. 2017. N 2-3 (28). Pp. 268-271.
16. Voropai R.A., Domanov E.V. Derivation of a general formula for the shear of a movable support of an arch-type truss by induction in two parameters in the Maple system. Postulate. 2019. №2. Pp. 11.
17. Voropay R.A., Domanov E.V. Analytical solution of the problem of shifting a movable support of a truss of arch type in the Maple system. Postulat. 2019.No 1.
18. Kitaev S.S. Derivation of the formula for the deflection of a cantilevered truss with a rectangular diagonal grid in the computer mathematics system Maple. Postulat. 2018.No. 5-1 (31).
19. Rakhmatulina A.R., Smirnova A.A. Two-parameter derivation of the formula for deflection of the console truss. Postulat. 2018.No. 5-1 (31). № 22.
20. Voropay R.A., Domanov E.V. The dependence of the deflection of a planar beam truss with a complex lattice on the number of panels in the system Maple. Postulate. 2019.No 1. Pp. 12
21. Kirsanov M.N. Analytical calculation of a regular beam truss with an arbitrary number of panels with a complex lattice. Structural mechanics and calculation of structures. 2016. No. 3 (266). Pp. 16-19.
22. Kirsanov M.N. To the choice of a girder truss lattice. Structural mechanics of engineering structures and structures. 2017. No. 3. P. 23-27.
23. Kirsanov M.N. The calculation of the stiffness of the core lattice. Bulletin of mechanical engineering. 2015. No. 8. P. 48-51.
24. Kirsanov M.N., Maslov A.N. Formulas for calculating the deflection of a beam multi-lattice truss. Construction Mechanics and Structural Analysis. 2017. No. 2 (271). Pp. 6-10.
25. Kirsanov M.N. Analytical calculation of a beam truss with a complex lattice. Structural mechanics and calculation of structures. 2015. No 3 (260). Pp. 7-12.
26. Kirsanov M.N. Derivation of a formula for the deflection of a trellised truss having cases of kinematic variability. Structural Mechanics and Structures. 2017. V. 1. No. 14. Pp. 27-30.
27. Kirsanov M.N. Assessment of the deflection and stability of a spatial beam truss. Structural mechanics and calculation of structures. 2016. No. 5 (268). Pp. 19-22.
28. Kirsanov M.N. An analytical study of the stiffness of a spatial statically determinate truss. Vestnik MGSU. 2017.V. 12. No. 2 (101). Pp. 165-171.
29. Kirsanov M.N. Features of the analytical calculation of spatial core systems. Structural mechanics and structural analysis. 2011. No. 5 (238). Pp. 11-15.
30. Kirsanov M.N. Analytical calculation of a spatial bar regular structure with a flat face. Structural mechanics and calculation of structures. 2015. No 2 (259). Pp. 2-6.
31. Kirsanov M.N. Analytical calculation of the deflection of a spatial rectangular coating. Vestnik MGSU. 2018. V. 13. No. 5 (116). Pp. 579-586.
32. Kirsanov M.N. Calculation of G-shaped Farming of Road Signs and Equipment. Russian Journal of Building. Construction and Architecture. Issue № 2 (42), 2019. Pp. 62-71.
33. Orlov I.V. Static calculation of the rod model of the bracket for attaching advertisements, street lighting and electronic equipment. Postulate. 2018. No. 12.
34. Arutyunyan V. B. Analytical calculation of the deflection street bracket for advertising. Postulat. 2019.No 1.
35. Ghaffarzadeh H., Nikkar A. Explicit solution to the large deformation of a cantilever beam under point load at the free tip using the variational iteration method-II. Journal of Mechanical Science and Technology. 2013. V. 27. No.11. Pp. 3433-3438.
36. Wang J., Chen J. K., Liao S. An explicit solution of the large deformation of a cantilever beam under point load at the free tip. Journal of Computational and Applied Mathematics. 2008. V. 212. No. 2. Pp. 320-330.
37. Salehi P., Yaghoobi H., Torabi M. Application of the differential transformation method and variational iteration method to large deformation of cantilever beams under point load . Journal of mechanical science and technology. 2012. V. 26. No. 9. Pp. 2879-2887.

38. Kimiaefar A. et al. Analytical solution for large deflections of a cantilever beam under nonconservative load based on homotopy analysis method. Numerical Methods for Partial Differential Equations. 2011. V. 27. No. 3. Pp. 541-553.
39. Beléndez T., Neipp C., Beléndez A. Large and small deflections of a cantilever beam. European journal of physics. 2002. V. 23. No. 3. Pp. 371.
40. Holden J. T. On the finite deflections of thin beams. International Journal of Solids and Structures. 1972. V. 8. No. 8. Pp. 1051-1055

ANALYTICAL CALCULATION OF THE DEPENDENCE OF CANTILEVER RACK DEFORMATIONS ON THE NUMBER OF PANELS IN THE MAPLE SYSTEM

S. V. Terze¹

National Research University "MPEI"¹
Moscow, Russia

¹Student, tel.: +7(909)650-81-04; e-mail: sergeyyterze@rambler.ru

The rack and cantilever of a flat statically defined truss have a simple diagonal grid. One support is fixed, the other is movable. The deflection of the cantilever end is calculated using the Maxwell – Mohr formula in analytical form for the load distributed over the lower belt of the cantilever and concentrated one. Solutions for trusses with a different number of panels in the cantilever and rack by double induction generalized to an arbitrary number of panels. An asymptotic analysis of the solution is performed. To obtain forces in symbolic form and solve recurrent equations that satisfy the coefficients of the desired formulas, the apparatus of symbolic transformations of the Maple system is used. The solution includes seven geometric parameters of the structure, the elastic modulus of the rods and the load.

Keywords: truss, induction, Maple, console, deflection.