

УДК 624.04

М.Ю. Овсянников, С.Г. Кузнецова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ ФЕРМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА

Расчетное положение подвижной нагрузки – это такое положение, при котором имеют место наибольшие внутренние усилия, напряжения и перемещения обоих знаков в рассматриваемом элементе сооружения или сооружения в целом. Именно на такие усилия и должны быть рассчитаны сооружения. В целях сокращения указанных величин в фермах могут использоваться шпренгели. Они работают на местную нагрузку, тем самым разгружая одни элементы фермы и нагружая другие. Решения диктуются прежде всего с экономической точки зрения, ведь снизив внутренние усилия в элементе сооружения, возможно сэкономить на количестве материала, необходимого на его изготовление. В роли подвижной нагрузки могут выступать движущиеся автомобили, трамваи, поезда и другой транспорт.

Ключевые слова: железнодорожный мост, ферма, шпренгель, основная ферма, подвижная нагрузка, местная нагрузка, расчетное положение нагрузки, равновесие, продольное усилие, растяжение, сжатие.

Определим невыгодное положение подвижной нагрузки (рис. 1) фермы железнодорожного моста (рис. 2), рассматривая расчетные усилия в стержне нижнего пояса фермы 7–8 и стержне верхнего пояса 7'–10'.

Система подвижных грузов перемещается по сооружению в одном направлении (слева направо). Ось координат (ось x) привязана к левой шарнирно-неподвижной опоре и направлена вдоль фермы. Грузовой пояс фермы – нижний.

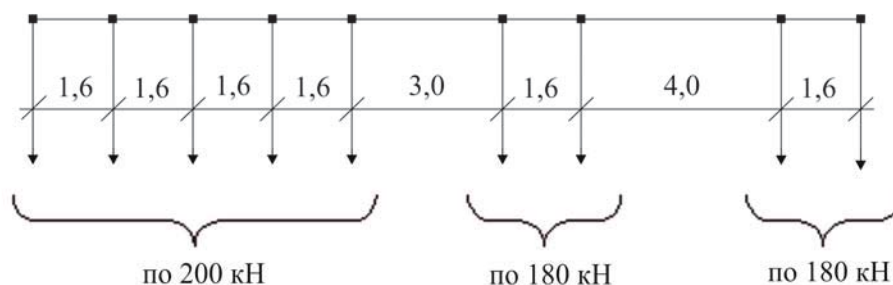


Рис. 1. Система подвижных грузов

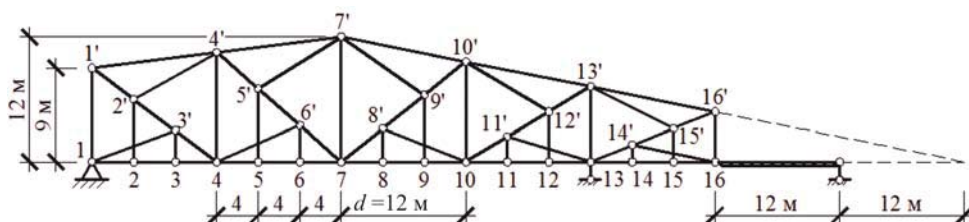


Рис. 2. Ферма железнодорожного моста

В пределах каждой панели имеем одноярусный шпренгель, который расположен на нижнем поясе, работает только на местную нагрузку и передает ее на основные узлы того же пояса, например шпренгель 7–8–10–8'.

Чтобы разгрузить нижний пояс, в данной ферме предусмотрен двухъярусный шпренгель, который передает нагрузку с нижнего пояса на верхний пояс, например шпренгель 7'–10'–9'–9–7–10.

Построим линию влияния продольного усилия в стержне 7–8. Стержень 7–8 принадлежит как ферме, так и шпренгелю 7–8–10–8'. Поэтому линия влияния U_{7-8} будет складываться из линий влияния данного усилия в основной ферме (ферме без шпренгелей) (рис. 3) и в самом шпренгеле (рис. 4).

Проведем сечение I–I в основной ферме и рассмотрим равновесие левой части фермы относительно узла 10'.

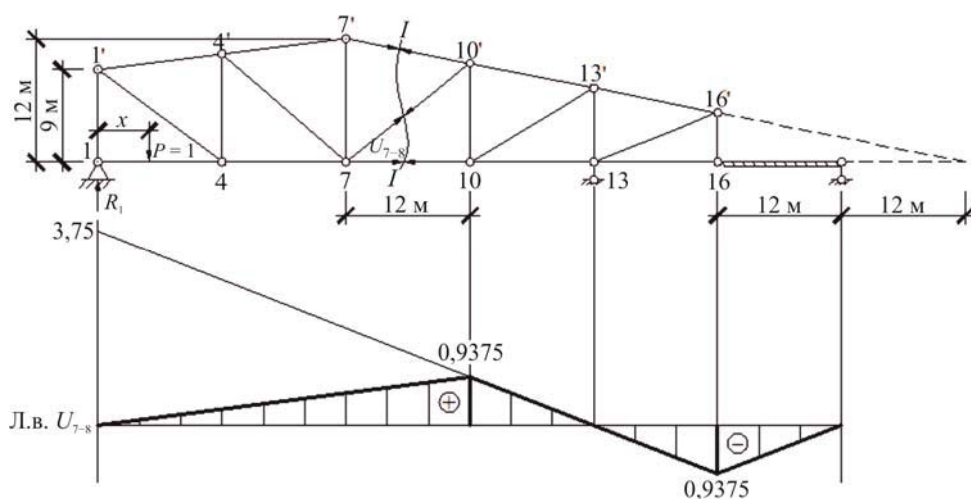


Рис. 3. Линия влияния U_{7-8} в основной ферме

Если единичный груз $P = 1$ расположен в правой части фермы:

$$\begin{aligned}\sum M_{10'}^{\text{лев}I-I} &= 0; \\ R_1 \cdot 3d - U_{7-8} \cdot r_{10-10'} &= 0; \\ U_{7-8} &= \frac{3d}{r_{10-10'}} \cdot R_1 = \frac{3 \cdot 12}{9,6} \cdot R_1 = 3,75 R_1.\end{aligned}$$

Если единичный груз $P = 1$ расположен в левой части фермы:

$$\begin{aligned}\sum M_{10'}^{\text{лев}I-I} &= 0; \\ R_1 \cdot 3d - 1(3d - x) - U_{7-8} \cdot r_{10-10'} &= 0; \\ U_{7-8} &= \frac{3d}{r_{10-10'}} \cdot R_1 - \frac{3d - x}{r_{10-10'}} = \\ &= \frac{3 \cdot 12}{9,6} \cdot R_1 - \frac{3 \cdot 12 - x}{9,6} = 3,75 R_1 - \frac{36 - x}{9,6}; \\ U_{7-8}(x = 0) &= 0; \\ U_{7-8}(x = 24) &= 0,625.\end{aligned}$$

Рассмотрим равновесие узла 7 шпренгеля, передающего нагрузку на нижний пояс (рис. 4).

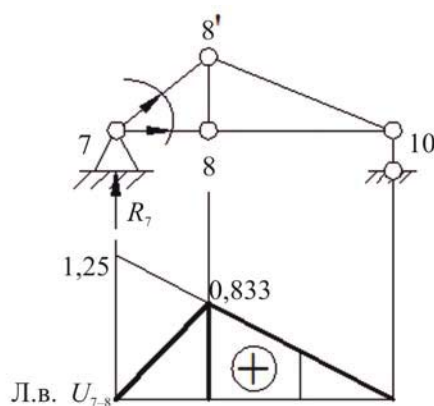


Рис. 4. Линия влияния U_{7-8} в шпренгеле 7–8–10–8'

$$\begin{aligned}\sum M_{8'} &= 0; \\ R_7 \cdot 4 - U_{7-8} \cdot r_{8-8'} &= 0;\end{aligned}$$

$$U_{7-8} = \frac{4}{r_{8-8'}} \cdot R_7 = \frac{4}{3,2} \cdot R_7 = 1,25R_7.$$

Окончательная линия влияния U_{7-8} приведена на рис. 5.

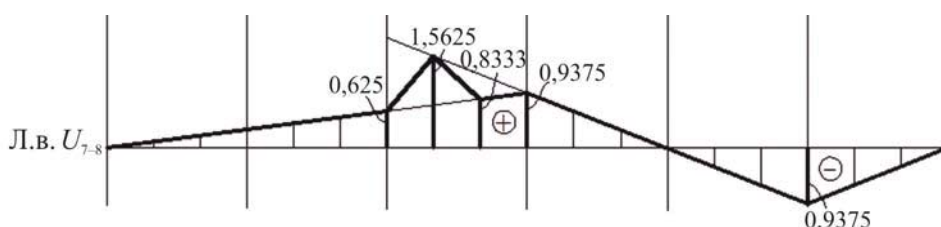


Рис. 5. Окончательная линия влияния U_{7-8}

Один из грузов подвижной системы должен располагаться над наибольшей ординатой линии влияния – только тогда возможно расчетное положение системы подвижных грузов [1, 2]. Для линии влияния U_{7-8} эта ордината 1,5625, и ей соответствует координата $x = 28$ м. Поскольку в системе подвижных грузов всего 9 грузов, возможно только 9 положений нагрузки, которые могут быть расчетными. Рассмотрим все 9 положений подвижной нагрузки.

Составим таблицу координат отдельных грузов подвижной системы, где каждый столбец является одним из 9 положений нагрузки (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Координаты подвижных грузов

Номер груза	Координата x								
1	11,4	13	17	18,6	21,6	23,2	24,8	26,4	28
2	13	14,6	18,6	20,2	23,2	24,8	26,4	28	29,6
3	14,6	16,2	20,2	21,8	24,8	26,4	28	29,6	31,2
4	16,2	17,8	21,8	23,4	26,4	28	29,6	31,2	32,8
5	17,8	19,4	23,4	25	28	29,6	31,2	32,8	34,4
6	20,8	22,4	26,4	28	31	32,6	34,2	35,8	37,4
7	22,4	24	28	29,6	32,6	34,2	35,8	37,4	39
8	26,4	28	32	33,6	36,6	38,2	39,8	41,4	43
9	28	29,6	33,6	35,2	38,2	39,8	41,4	43	44,6

Далее определим ординаты линии влияния под каждым грузом по следующей формуле:

$$y = \begin{cases} \frac{0,9375}{36}x, & x \in [0; 24] \cup [32; 36] \\ 0,625 + \frac{1,5625 - 0,625}{4}(x - 24), & x \in [24; 28] \\ 1,5625 - \frac{1,5625 - 0,833}{4}(x - 28), & x \in [28; 32] \\ 3,75 - \frac{3,75}{48}x, & x \in [36; 60] \end{cases}$$

Продольное усилие в стержне 7–8 определяется по следующей формуле:

$$U_{7-8} = \sum_{i=1}^9 y_i \cdot P_i.$$

Сведем все полученные данные в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Ординаты подвижных грузов и продольные усилия в стержне 7–8

Номер груза	Ордината y									P
1	0,30	0,34	0,44	0,48	0,56	0,60	0,81	1,19	1,56	200
2	0,34	0,38	0,48	0,53	0,60	0,81	1,19	1,56	1,27	200
3	0,38	0,42	0,53	0,57	0,81	1,19	1,56	1,27	0,98	200
4	0,42	0,46	0,57	0,61	1,19	1,56	1,27	0,98	0,85	200
5	0,46	0,51	0,61	0,86	1,56	1,27	0,98	0,85	0,90	200
6	0,54	0,58	1,19	1,56	1,02	0,85	0,89	0,93	0,83	180
7	0,58	0,63	1,56	1,27	0,85	0,89	0,93	0,83	0,70	180
8	1,19	1,56	0,83	0,88	0,89	0,77	0,64	0,52	0,39	180
9	1,56	1,27	0,88	0,92	0,77	0,64	0,52	0,39	0,27	180
U_{7-8}	1077,71	1149,38	1328,54	1441,88	1579,58	1653,75	1698,75	1650,83	1506,25	–

Определив U_{7-8} для всех 9 положений нагрузки, получим, что расчетное (наибольшее) значение продольной силы, равное 1698,75 кН (растяжение), получается при положении третьего груза над наибольшей ординатой линии влияния (28 м). Это и есть расчетное положение подвижной нагрузки для стержня 7–8.

Библиографический список

1. Киселев В.А. Строительная механика. Общий курс: учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 520 с.

2. Балабанов В.В. Строительная механика: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. – Т. 1. – М.: Академия, 2012. – 304 с.

M.Yu. Ovsyannikov, S.G. Kuznetsova

DETERMINATION OF THE ESTIMATED POSITION OF THE MOVING LOAD OF TRUSS RAILWAY BRIDGE

The estimated position of the moving load is a position where we have the greatest internal forces, tension and deformations (extension, compression) in element of construction or construction in general. Constructions should be calculated on such forces. We can use sub-diagonals in trusses to reduce these parameters. They work for the local load. It leads to unloading of some elements and loading of other elements. First of all, the solutions are dictated from the economic aspect. If we reduce the internal forces in the elements of the construction, then we can save material needed for its manufacture. In the role of a moving load can be cars, trams, trains and other transport.

Keywords: railway bridge, truss, sub-diagonal, the main truss, moving load, local load, the estimated position of the load, the balance, the longitudinal force, extension, compression.

Сведения об авторах

Овсянников Михаил Юрьевич (Пермь, Россия) – студент кафедры «Строительная механика и вычислительная техника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: mihovs@yandex.ru).

Кузнецова Светлана Григорьевна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительная механика и вычислительная техника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ.

About the authors

Ovsyannikov Mikhail Yurievich (Perm, Russia) – student, Department of Structural mechanics and computer engineering, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: mihovs@yandex.ru).

Kuznetsova Svetlana Grigorievna (Perm, Russia) – Candidate of Technics, Associate Professor, Department of Structural mechanics and computer engineering, Perm National Research Polytechnic University.

Получено 11.03.2013