

УДК 621.643.004.15

С. Д. Семенюк, Ю. М. Иванов, А. В. Берестова

К РАСЧЕТУ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФЕРМ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

UDC 621.643.004.15

S. D. Semenyuk, Y. M. Ivanov, A. V. Berestova

ON THE CALCULATION OF COMPRESSION MEMBERS OF TRUSSES IN THE INSPECTION OF STEEL STRUCTURES**Аннотация**

Излагаются численные методы исследований сжатых элементов стальных ферм при оценке технического состояния металлических конструкций, учитывающие особенности обследования металлических конструкций, а также поверочные расчеты сжатых элементов стальных ферм. Приводятся обособленные выводы и рекомендации по применению наиболее рациональных сечений для сжатых элементов ферм.

Ключевые слова:

расцентровка, погибы, центральное и внецентренное сжатие, эксцентриситет, коэффициент продольного изгиба, сечение, условная гибкость, несущая способность, оптимальные сечения.

Abstract

The numerical methods of inspecting compression members of steel trusses are given for evaluating the technical state of metal structures, which take into account the peculiarities of the inspection of metal structures, and the checking calculations of compression members of steel trusses. Separate conclusions and recommendations for using the most rational profiles for compression members of trusses are presented.

Key words:

mispositioning, deflection, axial and eccentric compression, eccentricity, buckling coefficient, profile, conditional plasticity, load-carrying capacity, optimum profiles.

Введение

При детальном инструментально-техническом обследовании эксплуатируемых стальных ферм в соответствии со СНиП II-23-81* необходимо выполнять поверочные расчеты элементов металлических конструкций, в частности имеющих ослабления в виде вырезов, подрезов, по площади netto с учетом эксцентриситетов от смещения центра тяжести ослабленного сечения относительно центра тяжести первоначального сечения. Оси стержней ферм должны быть центрированы во всех узлах. Центрирование стержней в сварных фермах производят по центрам тя-

жести сечений с округлением до 5 мм, а в болтовых – по рискам уголков, ближайшим к обушке.

Для элементов с известными геометрическими характеристиками первоначального сечения целесообразно применять условие прочности с использованием компенсирующих добавок усилий $N^{осл}$, $M_x^{осл}$, $M_y^{осл}$ [2] (рис. 1).

$$\left(\frac{N + N^{осл}}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \right)^n + \frac{(M_x + M_x^{осл}) \cdot y_c}{c_x \cdot I_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{(M_y + M_y^{осл}) \cdot x_c}{c_y \cdot I_y \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned}
 N^{осл} &= \sigma^{осл} \cdot A^{осл}; \\
 M_x^{осл} &= N^{осл} \cdot y^{осл}; \\
 M_y^{осл} &= N^{осл} \cdot x^{осл}; \\
 \sigma^{осл} &= \sigma_F \cdot \left(1 - \frac{A^{осл}}{A} - \frac{I_x^{осл}}{I_x} - \frac{I_y^{осл}}{I_y} \right)^{-1}; \\
 \sigma_F &= \frac{N}{A} + \frac{M_x \cdot y^{осл}}{I_x} + \frac{M_y \cdot x^{осл}}{I_y}; \\
 I_x^{осл} &= A^{осл} \cdot (y^{осл})^2; \\
 I_y^{осл} &= A^{осл} \cdot (x^{осл})^2.
 \end{aligned}$$

Значения n , c_x , c_y принимаются по [1, табл. 66] для неослабленного сечения.

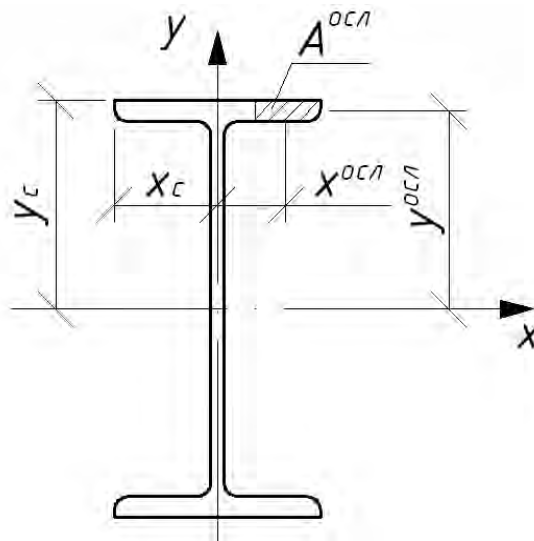


Рис. 1. Поперечное сечение с ослаблением

Сжатые сплошностенчатые элементы стальных конструкций, имеющих общее искривление или ослабление, следует рассчитывать как внецентренно сжатые. Отличие работы искривленных стержней от внецентренно сжатых (рис. 2) рекомендуется учитывать умножением стрелки искривления стержня f_0 в ненагруженном состоянии на коэффициент k , переходя от максимальной стрелки искривления к эквивалентному эксцентриситету, принимая $m_{ef} = k \cdot \eta \cdot m_f$, где

$$m_f = \frac{f_0 \cdot A}{W}.$$

Коэффициент k вычисляется по формуле

$$k = 0,82 + 0,1 \cdot \frac{\sqrt{\eta \cdot m_f}}{\lambda}, \quad (2)$$

где $\bar{\lambda}$ – условная гибкость стержня в плоскости искривления; η – коэффициент влияния формы сечения; принимается по [1, табл. 7.3].

Стрелка искривления стержня в ненагруженном состоянии определяется по формуле

$$f_0 = \psi_0 \cdot f'_{из}, \quad (3)$$

где $f'_{из}$ – полная стрелка искривления, замеренная при нагружении силой N_0' (см. рис. 2); ψ_0 – коэффициент, $0 \leq \psi_0 \leq 1$; определяется по формуле

$$\psi_0 = 1 - 0,1 \cdot \bar{\lambda}^2 \cdot \left(\frac{\sigma'}{R_y} \right), \quad (4)$$

где σ' – напряжения в стержне в мо-

мент замера стрелки, $\sigma' = \frac{N_0'}{A} \leq \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$;
 R_y – расчетное сопротивление стали.

Если усилие в стержне N_0' в момент замера стрелки определить невозможно, следует принимать $\psi_0 = 1$.

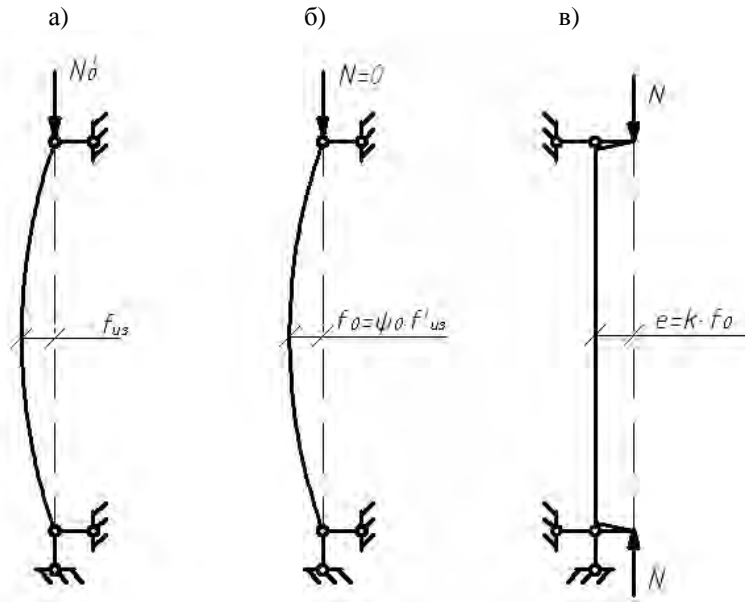


Рис. 2. Сжатый стержень с общим искривлением: а – нагруженный; б – ненагруженный; в – эквивалентный внецентренно сжатый

Численные исследования работы сжатых элементов ферм. Результаты исследований

В численном эксперименте по выявлению несущей способности сжатых элементов ферм рассматривались четыре сечения:

1) сечение из двух равнополочных уголков, составленных тавром \llcorner 125×8 с $A_1 = 19,69 \text{ см}^2$, $i_x = 3,87 \text{ см}$, $i_y = 5,46 \text{ см}$; $A = 19,62 \cdot 2 = 39,24 \text{ см}^2$;

2) сечение из двух неравнополочных уголков, составленных тавром \llcorner 140×90×8 с $A_1 = 18,00 \text{ см}^2$, $i_x = 4,49 \text{ см}$, $i_y = 2,58 \text{ см}$; $A = 18,0 \cdot 2 = 36,0 \text{ см}^2$;

3) сечение из двутавра № 27 с $A = 40,2 \text{ см}^2$, $i_x = 11,2 \text{ см}$, $i_y = 2,54 \text{ см}$;

4) трубчатое сечение диаметром 219 мм с $A = 40,2 \text{ см}^2$ при $S = 6 \text{ мм}$, $I = 7,5 \text{ см}$.

Для уголков, двутавра и кольцевого сечения рассматривались два фактора, влияющие на несущую способность

сжатого элемента, – расцентровка в пределах от 0 до 30 мм и гибкость от 40 до 120. Графики численных исследований представлены на рис. 3...6 и в табл. 1...4. При этом расчет несущей способности элементов ферм производится относительно оси x , т. е. в плоскости фермы.

В соответствии с [3] в нормативные документы при центральном сжатии заложено условие, учитывающее погибы стержней, расцентровку и имеющиеся ослабления в виде вырезов. Расчет стержней необходимо производить с учётом эксцентриситета приложения силы:

$$e = \frac{i}{20} + \frac{l_0}{750}, \quad (5)$$

где i – радиус инерции сечения; l_0 – расчетная длина стержня.

Табл. 1. Несущая способность сжатых стержней из двух равнополочных уголков \llcorner 125×8 в плоскости фермы

e, см	Продольная сила N, кН, при λ						Эксцентриситет
	40	49,61	60	80	100	120	
-3,00	527,98	496,18	461,07	395,19	336,69	283,75	К обуху
-2,50	566,48	531,64	493,92	423,39	358,12	300,25	
-2,00	609,95	572,98	533,17	457,04	384,56	319,86	
-1,50	660,88	622,90	581,21	499,23	419,11	345,86	
-1,00	720,50	683,54	640,73	553,02	464,23	379,50	
-0,50	792,74	757,88	715,21	622,81	525,21	425,72	
-0,30	829,43	794,87	751,84	658,97	559,26	453,41	
0,00	844,94	806,79	760,82	648,35	512,26	396,01	К перу
0,30	773,06	741,19	700,92	613,98	522,30	427,40	
0,50	720,82	686,75	647,77	565,31	479,84	394,56	
1,00	615,57	581,77	545,20	474,36	405,01	340,29	
1,50	541,56	512,76	480,53	418,46	359,40	305,38	
2,00	484,34	457,18	428,21	375,92	326,79	281,02	
2,50	436,47	413,21	388,04	342,42	297,45	258,56	
3,00	400,53	379,49	356,55	314,51	275,85	240,03	

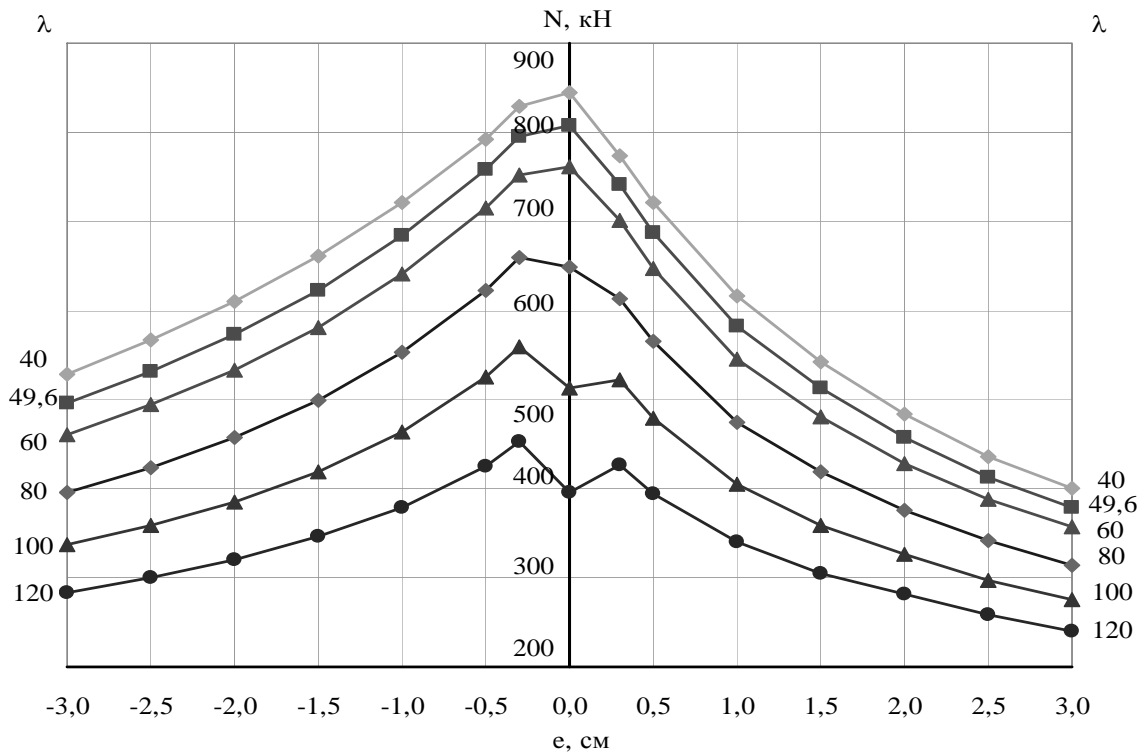


Рис. 3. Несущая способность сжатых стержней из двух равнополочных уголков \llcorner 125×8 в плоскости фермы

Табл. 2. Несущая способность сжатых стержней из двух неравнополочных уголков \llcorner 140×90×8 в плоскости фермы

e, см	Продольная сила N, кН, при λ						Эксцентриситет
	40	49,61	60	80	100	120	
-3,00	484,74	455,98	423,48	362,89	309,13	260,38	К обуви
-2,50	519,81	488,13	453,18	388,47	328,47	275,30	
-2,00	559,31	525,79	488,98	419,16	352,62	293,19	
-1,50	605,81	571,44	532,91	457,80	384,32	317,06	
-1,00	660,12	626,65	587,27	506,96	425,58	347,80	
-0,50	725,92	694,34	655,05	570,56	481,27	390,10	
-0,30	758,64	727,06	687,72	602,81	511,63	414,81	
0,00	772,42	737,54	695,52	592,70	468,29	362,02	К перу
0,30	730,02	700,06	662,81	582,25	495,69	404,61	
0,50	686,23	656,28	619,12	540,68	457,68	373,93	
1,00	602,74	571,67	536,54	467,05	396,87	330,29	
1,50	539,90	510,81	478,34	416,17	355,22	298,68	
2,00	490,20	464,74	435,29	379,22	326,13	277,17	
2,50	450,09	425,24	398,47	349,13	303,22	260,06	
3,00	413,96	391,67	367,81	324,01	281,42	243,92	

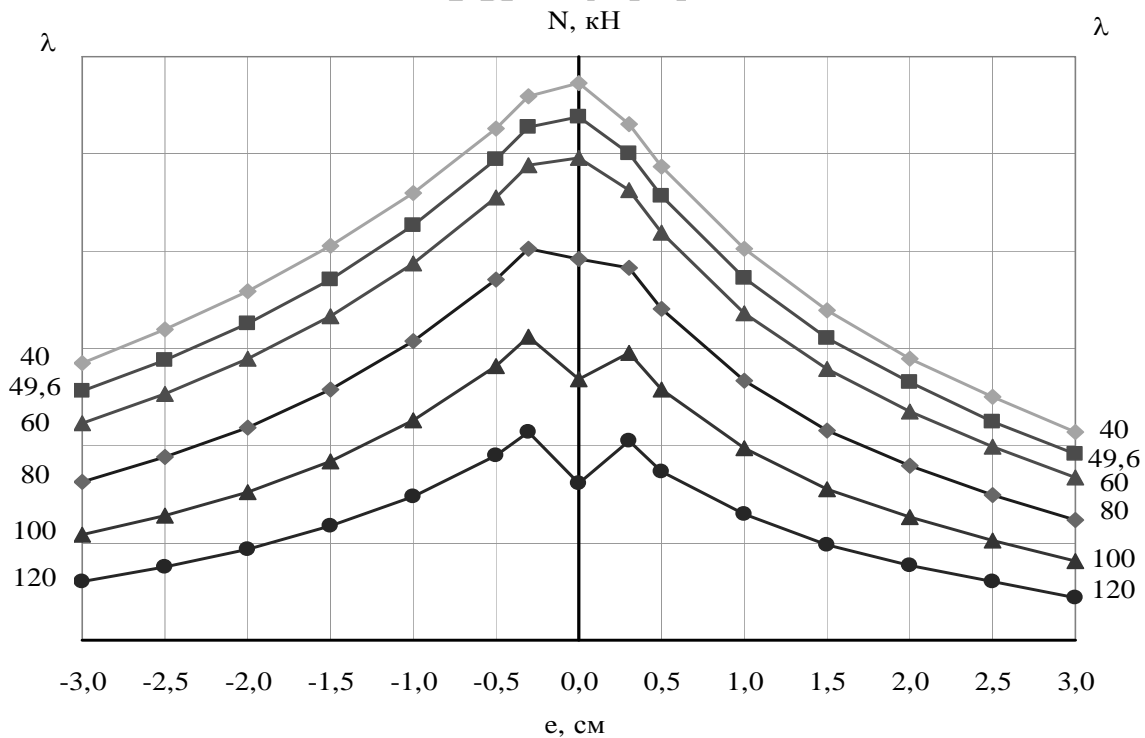


Рис. 4. Несущая способность сжатых стержней из двух неравнополочных уголков \llcorner 140×90×8 в плоскости фермы

Табл. 3. Несущая способность сжатых стержней из двутавра № 27 в плоскости фермы

e, см	Продольная сила N, кН, при λ					
	40	49,61	60	80	100	120
-3,00	701,85	665,87	625,02	544,45	462,22	382,94
-2,50	728,63	665,32	653,05	568,92	482,40	396,94
-2,00	756,80	722,62	681,09	593,72	502,31	410,95
-1,50	784,96	751,26	709,13	620,01	525,98	430,10
-1,00	822,95	789,51	746,98	655,58	558,19	454,92
-0,50	862,68	828,32	784,83	691,60	590,40	479,75
-0,30	878,66	843,84	800,33	706,01	603,12	489,74
0,00	862,53	823,59	776,66	661,85	522,92	404,25
0,30	878,66	843,84	800,33	706,01	603,12	489,74
0,50	862,68	828,32	784,83	691,60	590,40	479,75
1,00	822,95	789,51	746,98	655,58	558,19	454,92
1,50	784,96	751,26	709,13	620,01	525,98	430,10
2,00	756,80	722,62	681,09	593,72	502,31	410,95
2,50	728,63	665,32	653,05	568,92	482,40	396,94
3,00	701,85	665,87	625,02	544,45	462,22	382,94

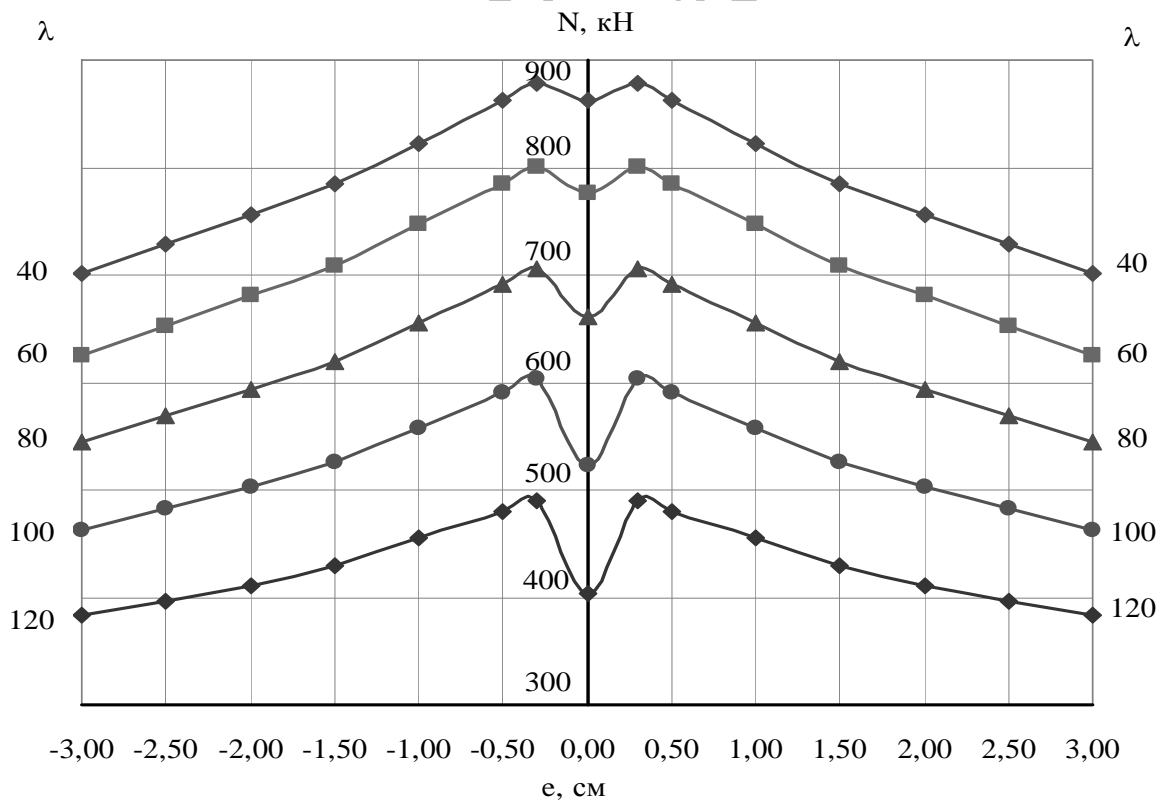


Рис. 5. Несущая способность сжатых стержней из двутавра № 27 в плоскости фермы

Табл. 4. Несущая способность сжатых стержней из труб диаметром 219 мм $S = 6$ мм в плоскости фермы

e, см	Продольная сила N, кН, при λ					
	40	49,61	60	80	100	120
-3,00	645,83	609,82	570,19	493,00	417,18	347,52
-2,50	677,54	640,98	599,85	518,62	438,13	363,00
-2,00	709,95	673,50	631,85	547,58	463,02	381,77
-1,50	749,59	714,42	672,76	583,99	492,75	403,16
-1,00	790,07	756,16	714,93	622,71	526,39	429,07
-0,50	846,24	811,43	769,26	674,95	574,30	466,99
-0,30	868,62	833,80	791,18	696,10	593,80	482,16
0,00	862,53	823,59	776,66	661,85	522,92	404,25
0,30	868,62	833,80	791,18	696,10	593,80	482,16
0,50	846,24	811,43	769,26	674,95	574,30	466,99
1,00	790,07	756,16	714,93	622,71	526,39	429,07
1,50	749,59	714,42	672,76	583,99	492,75	403,16
2,00	709,95	673,50	631,85	547,58	463,02	381,77
2,50	677,54	640,98	599,85	518,62	438,13	363,00
3,00	645,83	609,82	570,19	493,00	417,18	347,52

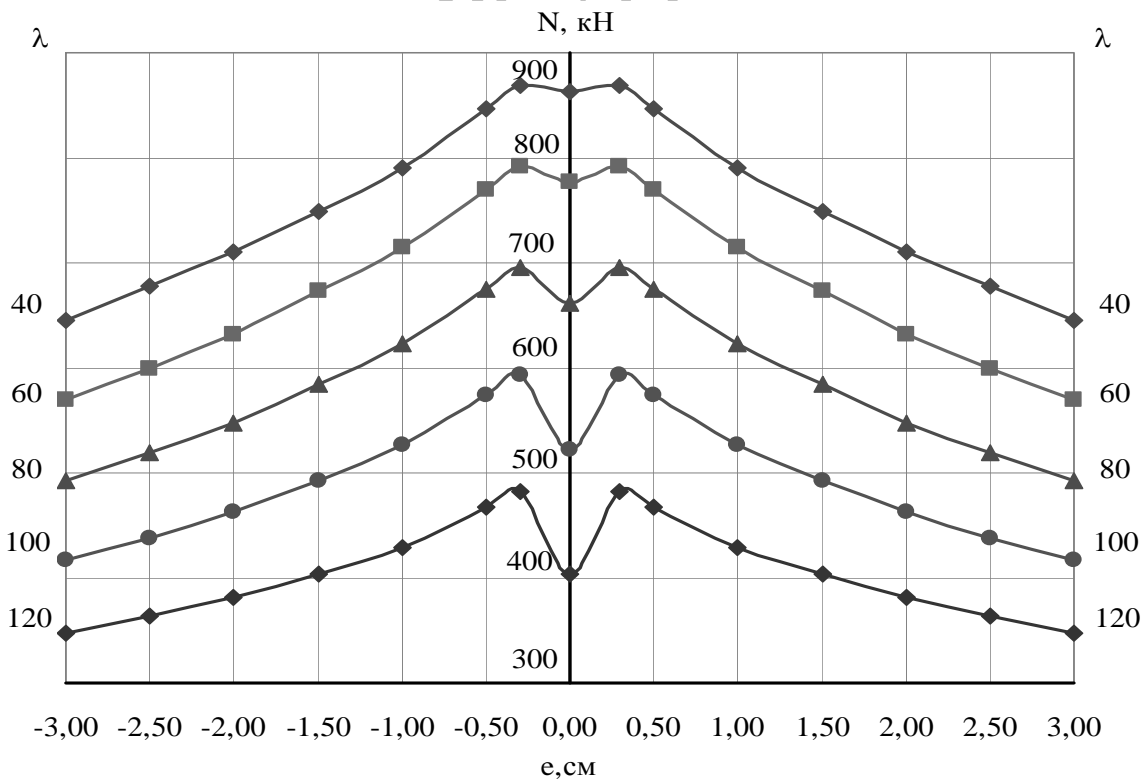


Рис. 6. Несущая способность сжатых стержней из труб диаметром 219 мм $S = 6$ мм в плоскости фермы

Заключение

Численные исследования показали, что в зависимости от роста гибкости стержня расцентровка, не влияющая на несущую способность, может увеличиваться. Так, для двутавра № 27 при гибкости стержня $\lambda = 40$ эксцентриситет e , не влияющий на несущую способность, равен 0,502 см. При гибкостях $\lambda = 60$, $\lambda = 80$, $\lambda = 100$, $\lambda = 120$ значения эксцентриситетов $e = 0,608$ см, $e = 0,913$ см, $e = 1,565$ см, $e = 2,239$ см.

Для трубы диаметром 219 мм $S = 6$ мм при гибкостях $\lambda = 40$, $\lambda = 60$, $\lambda = 80$, $\lambda = 100$, $\lambda = 120$ получены следующие значения эксцентриситетов $e = 0,354$ см, $e = 0,432$ см, $e = 0,625$ см, $e = 1,052$ см, $e = 1,479$ см.

Для стержней из уголков, составленных тавром при гибкости $\lambda = 80$ и расцентровке в сторону пера, несущая способность снижается, но в сторону обушка возможен эксцентриситет, не влияющий на его несущую способность. Так, для сечения $\text{JL} 125 \times 8$ эта величина составляет $e = 0,359$ см, для сечения $\text{JL} 140 \times 90 \times 8 - e = 0,367$ см.

При больших гибкостях возможна расцентровка как в сторону пера, так и в сторону обушка. Для сечения $\text{JL} 125 \times 8$ при $\lambda = 100$, $\lambda = 120$ имеем эксцентриситеты приложения нагрузки в сторону обушка $e = 0,606$ см, $e = 0,821$ см, в сторону пера $e = 0,347$ см, $e = 0,491$ см.

Для сечения $\text{JL} 140 \times 90 \times 8$ при $\lambda = 100$, $\lambda = 120$ эксцентриситеты приложения нагрузки в сторону обушка $e = 0,617$ см, $e = 0,832$ см, в сторону пера – $e = 0,444$ см, $e = 0,637$ см.

Численные исследования показали, что для сжатых поясов ферм, имеющих закрепления в каждом узле, и для опорных раскосов рационально сечение из двух неравнополочных уголков, составленных тавром узкими полками врозь. Расцентровка для такого сечения возможна при гибкости больше 80. Стержни, составленные тавром из двух равнополочных уголков, целесообразно применять в промежуточных сжатых элементах, при этом расцентровка также возможна при гибкости 80 и выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СНиП II-23-81***. Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М. : ЦИТП, 1990. – 96 с.
2. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*). – М. : ЦИТП, 1989. – 491 с.
3. **Горев, В. В.** Металлические конструкции. Элементы конструкций / В. В. Горев. – М. : Высш. шк., 2004. – 552 с.

Статья сдана в редакцию 6 марта 2012 года

Славик Денисович Семенюк, д-р техн. наук, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-297-43-38-72.
Юрий Михайлович Иванов, студент, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-292-44-11-84.
Александра Вадимовна Берестова, студентка, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-297-48-10-48.

Slavik Denisovich Semenyuk, DSc, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-297-43-38-72.
Yury Mikhailovich Ivanov, student, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-292-44-11-84.
Aleksandra Vadimovna Berestova, student, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-297-48-10-48.