



УДК 624.072.2:539.3

**Б. Б. ЛАМПСИ**, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой теории сооружений и технической механики; **Ю. Д. МАРКИНА**, асс. кафедры теории сооружения и технической механики; **П. А. ХАЗОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики, зав. лабораторией непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений

## **ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ПОДКРАНОВО-ПОДСТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ (ППФ) НА ПОДАТЛИВОСТЬ ЕЗДОВОГО ПОЯСА**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;  
эл. почта: tstm@nngasu.ru, lampsi@yandex.ru, poluektoff@bk.ru, khazov.nngasu@mail.ru  
*Ключевые слова:* подкраново-подстропильная ферма (ППФ), упругие опоры, угловая податливость, линейная податливость, жесткость, ездовой пояс, жесткость упругих опор.

---

*Представлены результаты анализа влияния на угловую и линейную податливость ездового пояса ППФ соотношения высоты и длины ППФ, а также жесткости узловых соединений на напряжения в ездовом поясе. Проанализирована целесообразность выполнения нелинейного расчета при нелинейной работе отдельных зон ездового пояса ППФ.*

---

### **Введение**

Подкраново-подстропильные фермы (ППФ) используются в цехах черной металлургии, на судостроительных заводах и других большепролетных зданиях с поперечным расположением кранов в уровне покрытия. Тяжелые условия работы предприятий и большая грузоподъемность кранов обуславливают значительные размеры ППФ, особенно их ездовых поясов прямоугольного замкнутого сечения, ширина которых составляет 2–3 м.

Стержневая модель ППФ представляет собой плоскую систему. При этом ППФ воспринимает большие нагрузки, действующие из плоскости, следовательно, все же является пространственной конструкцией. Узлы соединения решетки с нижним поясом обладают в плоскости системы большей изгибной жесткостью, чем сами элементы решетки [1]. Поэтому в отличие от классической фермы все стержни ППФ испытывают изгиб в ее плоскости. При максимальном нагружении пролета ППФ наблюдается образование пластических деформаций именно в присоединяемых элементах (в стойке и раскосах), а не в самом узле [2]. Таким образом, крепление системы решетки к ездовому поясу нельзя считать шарнирным. Элементы решетки вовлекаются в пространственную работу ездового пояса, испытывая изгиб из плоскости и кручение, оказывая поддерживающее влияние для ездового пояса.

В данной статье представлены результаты анализа влияния на угловую и линейную податливость ездового пояса ППФ, соотношения высоты ППФ и длины ее пролета, результаты анализа влияния жесткости узловых соединений на напряжения в ездовом поясе. Проанализирована целесообразность выполнения нелинейного расчета при нелинейной работе отдельных зон ездового пояса ППФ.

### **Методы исследования**

Для исследования влияния высоты ППФ на податливость ездового пояса выбрана плоская расчетная схема с жестким соединением стержней в узлах и с учетом эксцентриситета крепления решетки. Обоснование выбранной модели при-

ведено в [3].

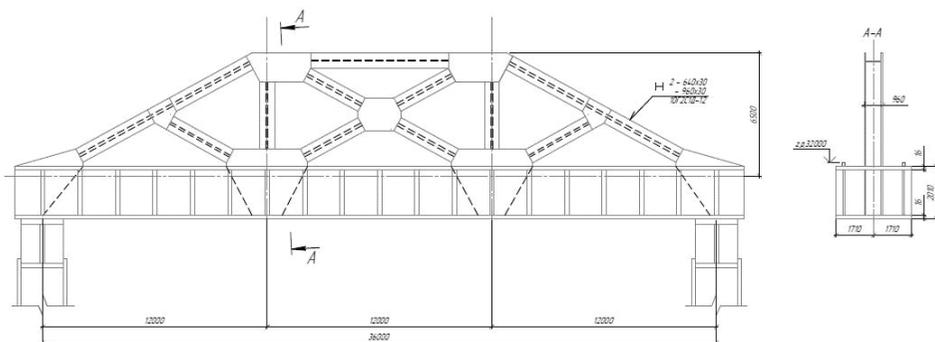
Объекты исследования – 4 ППФ:

1) пролетом 36 м, высотой 6,5 м, ездовой пояс 3×2 м, элементы решетки 0,64×0,96×0,03 м (рис. 1а);

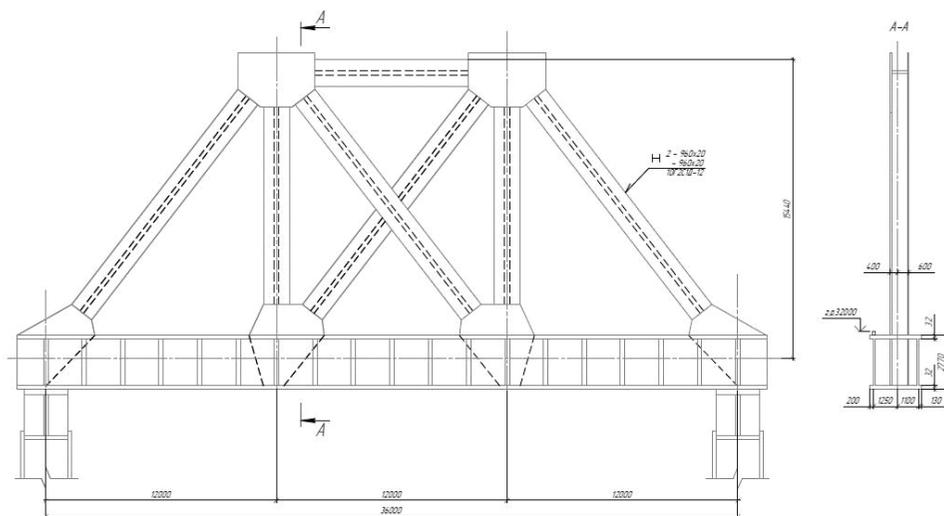
2) пролетом 36 м, высотой 15,44 м, ездовой пояс 2,35×2,7 м, элементы решетки 0,96×0,96×0,02 м (рис. 1б);

3) пролетом 48 м, высотой 13 м, ездовой пояс 2,75×2,7 м, элементы решетки 0,75×0,03×0,63×0,02 м (рис. 1в);

4) пролетом 9 м, высотой 3,3 м, ездовой пояс 0,9×0,7 м, элементы решетки 0,12×0,18×0,006 м (рис. 1г).



а



б

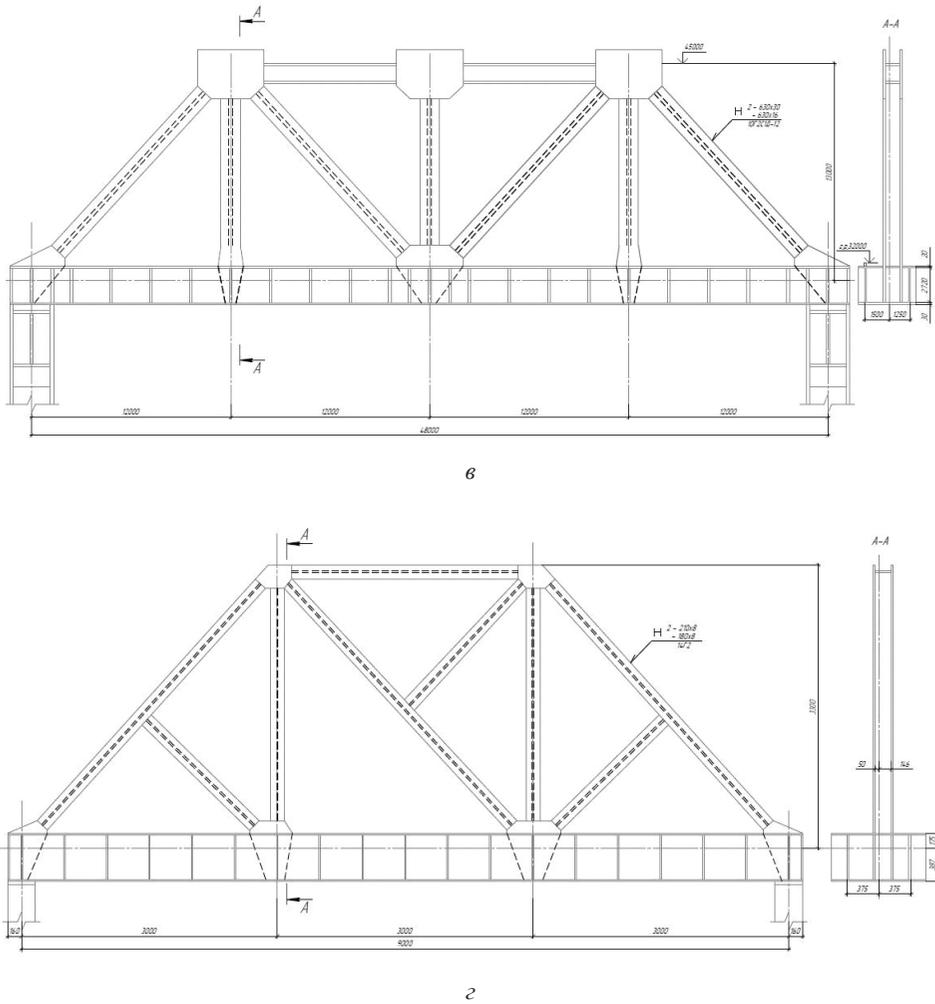


Рис. 1. Объекты исследования влияния высоты ППФ на податливость ездового пояса: а – ППФ пролетом 36 м, высотой 6,5 м; б – ППФ пролетом 36 м, высотой 15,44 м; в – ППФ пролетом 48 м, высотой 13 м; г – ППФ пролетом 9 м, высотой 3,3 м; (Н – двутавр)

Высота каждой ППФ последовательно снижалась в 5 этапов таким образом, чтобы отношение высоты фермы к длине пролета  $h/l$  уменьшилось от 0,5 до 0,1. В каждом случае в исследуемый узел ездового пояса прикладывалась единичная нагрузка для получения перемещения. Рассмотрены варианты приложения нагрузки в трех направлениях: линейная в плоскости ППФ, линейная из плоскости, крутящий момент. В итоге изучено по 15 расчетных схем для каждой из 4 ППФ. Также для вычленения жесткости решетки из общей жесткости ППФ определены перемещения от единичных нагрузок в трех направлениях 4 балок сечением и пролетом, идентичными ездовым поясам соответствующих ППФ. Методика определения жесткости решетки приведена в [3].

Для исследования влияния жесткости узловых соединений на напряжения в ездовом поясе выбраны 2 пространственные расчетные схемы ППФ с пластинча-

**К СТАТЬЕ Б. Б. ЛАМПСИ, Ю. Д. МАРКИНОЙ, П.А. ХАЗОВА  
«ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ПОДКРАНОВО-ПОДСТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ  
(ППФ) НА ПОДАТЛИВОСТЬ ЕЗДОВОГО ПОЯСА»**

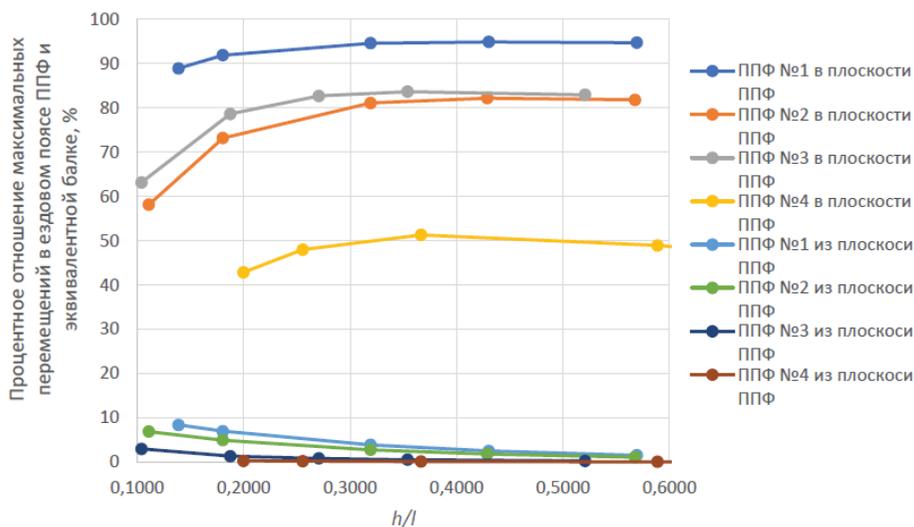


Рис. 1. Снижение отношения линейных перемещений в ездовом поясе ППФ и эквивалентной балке в зависимости от высоты ППФ

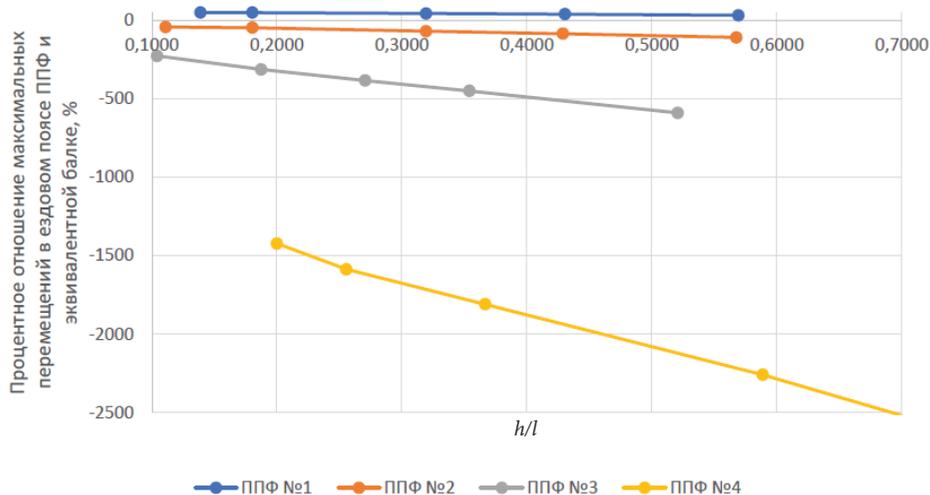


Рис. 2. Снижение отношения угловых перемещений в ездовом поясе ППФ и эквивалентной балке в зависимости от высоты ППФ

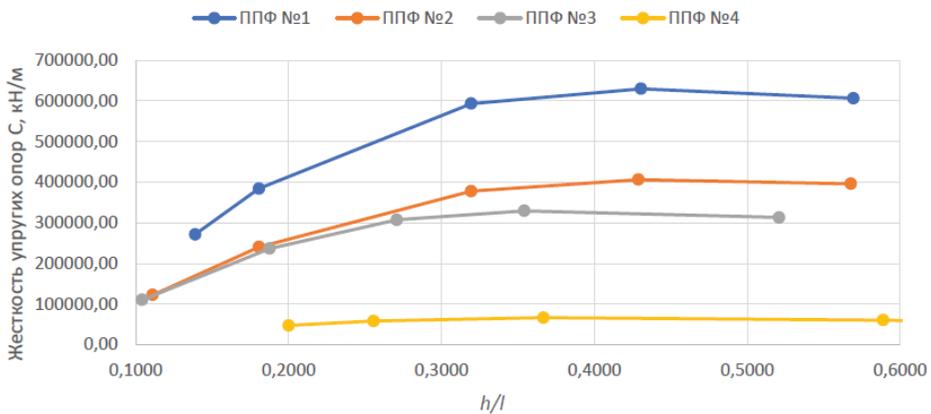


Рис. 3. Влияние высоты ППФ на линейную податливость ездового пояса в плоскости ППФ

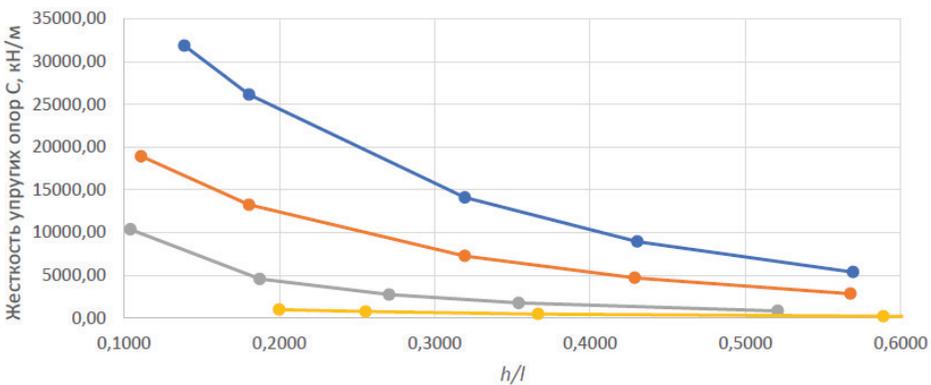


Рис. 4. Влияние высоты ППФ на линейную податливость ездового пояса из плоскости ППФ

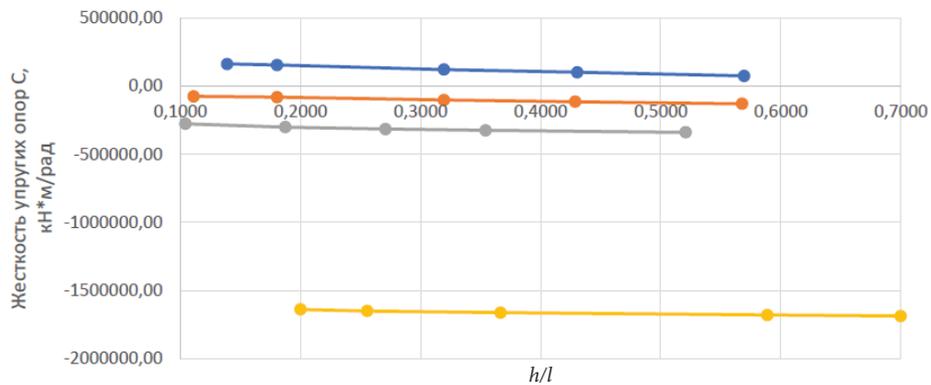


Рис. 5. Влияние высоты ППФ на угловую податливость ездового пояса

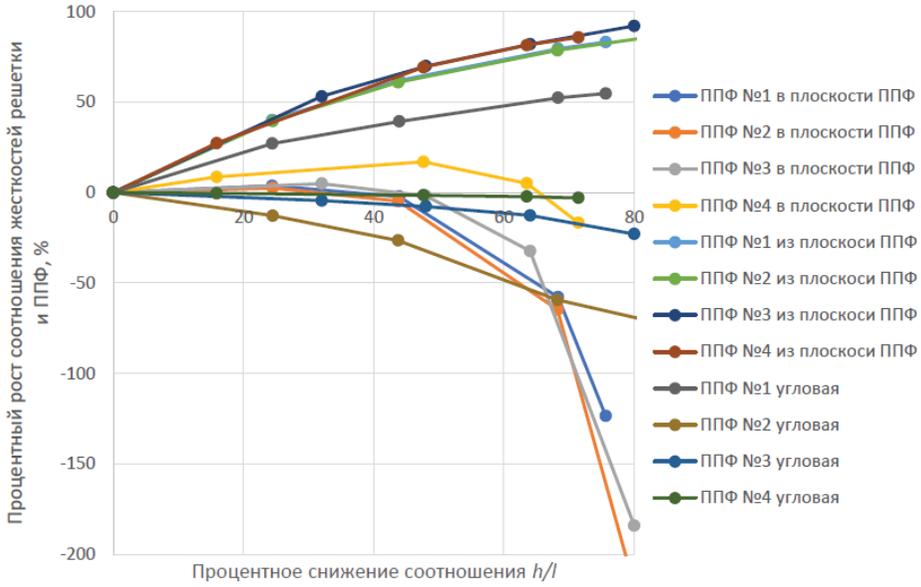


Рис. 6. Зависимость жесткости решетки от высоты ППФ

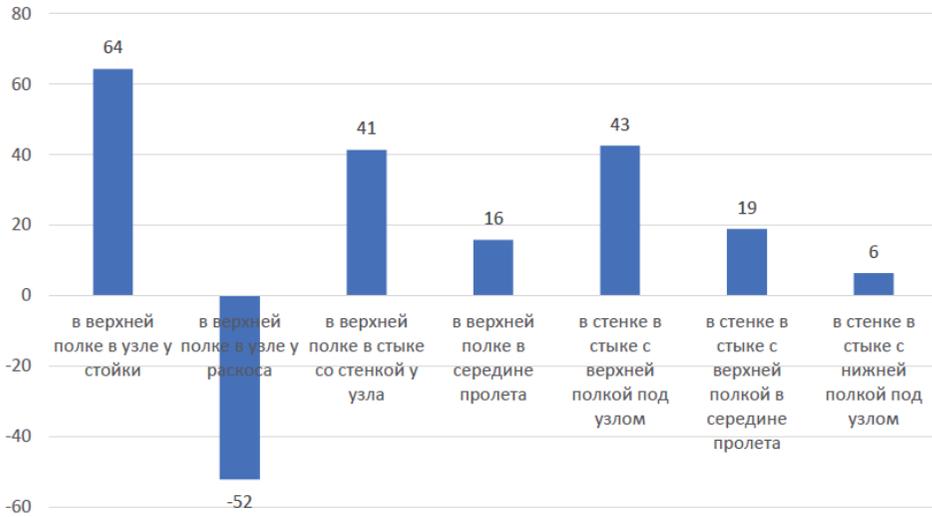


Рис. 7. Снижение уровня напряжений в эдовом поясе ППФ при учете жесткости крепления решетки, %

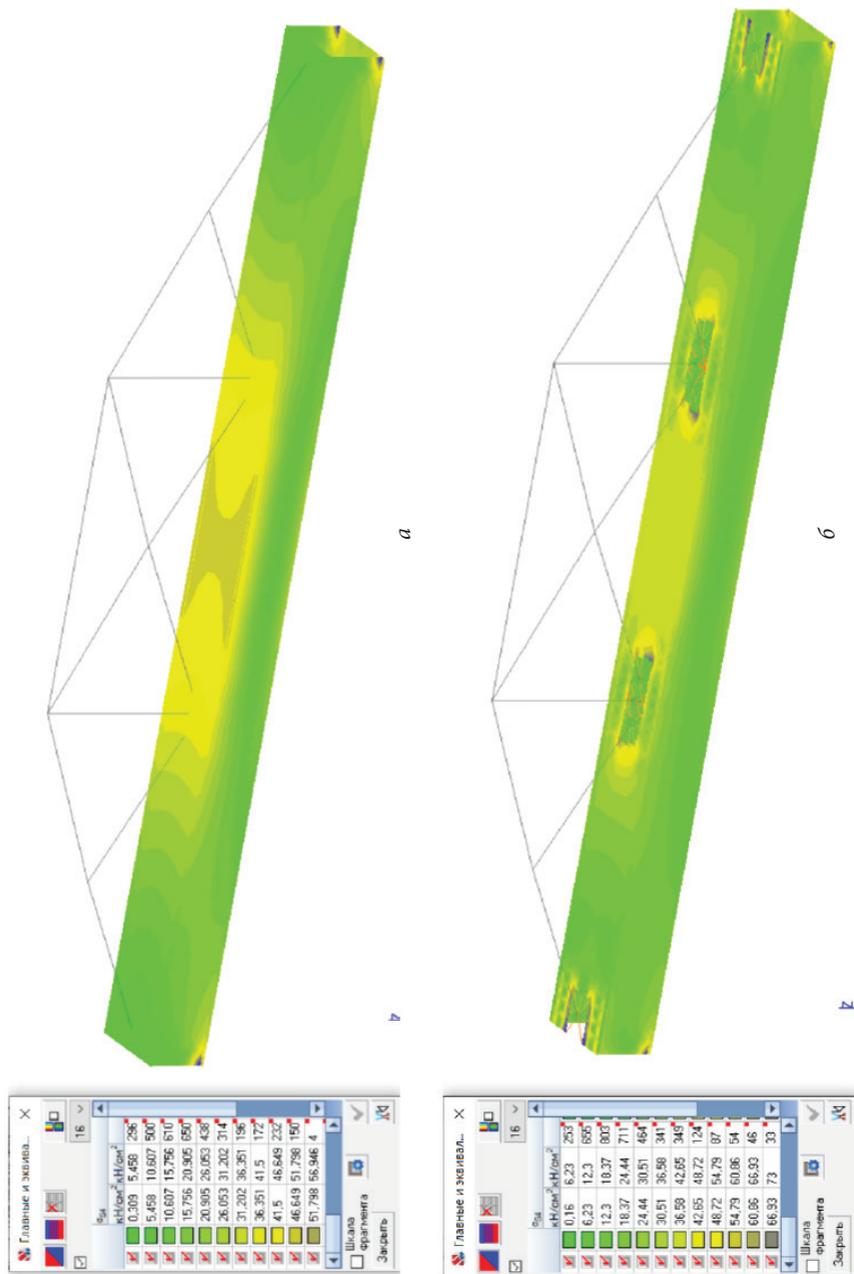


Рис. 8. Эквивалентное напряжение нижнего пояса ППФ (2 крана 180+63/20-33,5-36-3-220 7К):  
 а – при шарнирном; б – при жестком креплении элементов решетки

тым ездовым поясом при учете подкрепляющих и соединительных узловых элементов. Размер сетки конечных элементов определен методом итераций и принят 0,25 м. В первой расчетной схеме стержневые элементы решетки примыкают к нижнему поясу ППФ шарнирно (рис. 2а), во второй – жестко (рис. 2б). Жесткое крепление решетки к поясу выполнено с помощью абсолютно твердых тел. Их использование обусловлено особенностью стыковки конечных элементов различной размерности [4].

Объект исследования – продольная ППФ пролетом 36 м (рис. 1а), расположенная в литейном цехе металлургического предприятия. Все нагрузки заданы в соответствии с [5]. Крановая нагрузка задана от двух двухбалочных мостовых кранов режима работы 7К. Грузоподъемность кранов в 4 шага увеличена от 100 до 225 т. Так как в некоторых зонах ездового пояса напряжение превышает предел упругости, произведен нелинейный расчет.

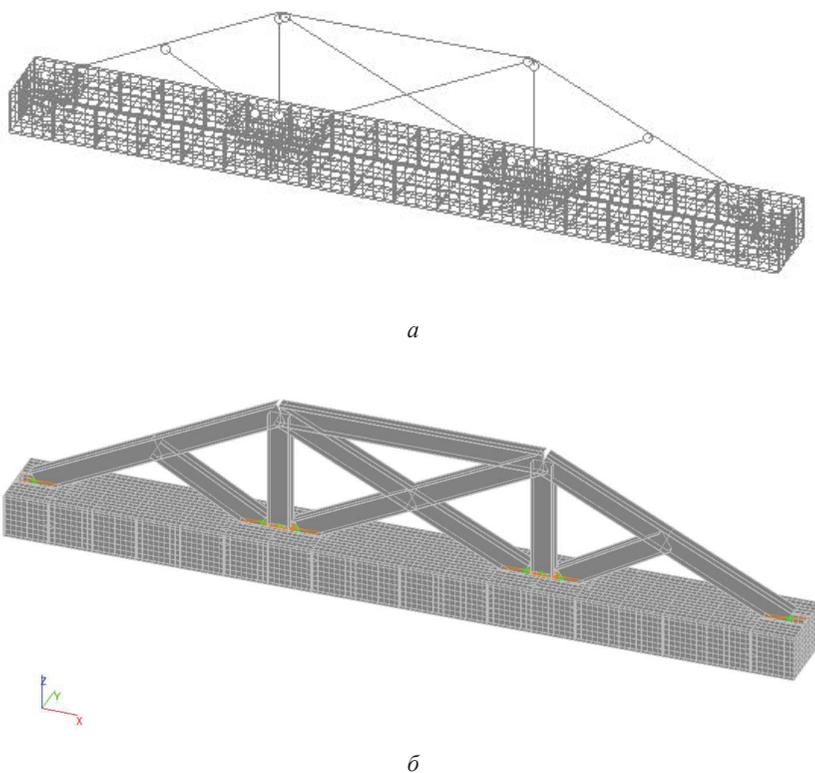


Рис. 2. Расчетные схемы ППФ: а – с шарнирным примыканием элементов решетки к нижнему поясу ППФ; б – с жестким примыканием элементов решетки к нижнему поясу ППФ

### Результаты

Результаты анализа влияния на податливость ездового пояса высоты ППФ приведены на рис. 1–6 цв. вклейки.

Результаты анализа влияния жесткости узловых соединений на напряжения в ездовом поясе приведены в таблице и на рис. 7–8 цв. вклейки.

**Напряжение в нижнем поясе ППФ при жестком и шарнирном примыкании элементов решетки**

Грузопод. кранов	Эквивалентное напряжение $\sigma_{E4} = \sigma_{S4}$ средний слой, кН/см <sup>2</sup>					
	верхняя полка в узле у стойки		верхняя полка в узле у раскоса		верхняя полка стык со стенкой у узла	
	жестк.	шарн.	жестк.	шарн.	жестк.	шарн.
2×100	10	28	35	23	17,5	29,8
2×140	13,8	34,8	42	28,7	20,2	34,4
2×180	16	38,4	49,4	33,3	23,5	41,4
2×225	18,9	44,1	58,3	39,7	27,8	45,4
	верхняя полка в середине пролета		стенка стык с верхней полкой у узла		стенка стык с в.п. середина пролета	
	жестк.	шарн.	жестк.	шарн.	жестк.	шарн.
2×100	28,4	33,7	13,9	24,2	22,8	28,1
2×140	34,1	40,4	16,7	29	27,4	33,7
2×180	39,6	46,9	19,4	33,7	31,8	39
2×225	46,8	56,1	24,9	40,1	37,6	46,5

**Выводы:**

1. Включение в работу ездового пояса элементов решетки не оказывает существенного влияния на линейную податливость ездового пояса из плоскости ППФ. Снижение отношения максимальных перемещений в ездовом поясе и эквивалентной балке составляет от 0,2 до 0,8 % в зависимости от характеристик ППФ.

Учет в работе ездового пояса элементов решетки значительно влияет на линейную податливость ездового пояса в плоскости ППФ. Снижение отношения максимальных перемещений в ездовом поясе и эквивалентной балке составляет от 40 до 100 % в зависимости от характеристик ППФ.

На угловую податливость ездового пояса учет элементов решетки оказывает наибольшее, чаще отрицательное влияние. Снижение отношения максимальных перемещений в ездовом поясе и эквивалентной балке составляет от –2500 до +50 % в зависимости от характеристик ППФ.

2. При увеличении отношения высоты ППФ к ее пролету  $h/l$  линейная податливость ездового пояса в плоскости ППФ снижается, линейная податливость ездового пояса из плоскости ППФ возрастает. На тип зависимости угловой податливости влияют геометрические характеристики ППФ.

3. Учет жесткости сопряжения элементов решетки с ездовым поясом может привести к:

- снижению максимального прогиба ППФ до 20 %;
- снижению напряжений в верхней полке ездового пояса в зоне сопряжения со стенкой до 41 %;
- снижению напряжений в верхней полке ездового пояса в середине пролета до 16 %;
- снижению напряжений в стенке ездового пояса в узле в зоне сопряжения с верхней полкой до 42 %, с нижней полкой – до 6 %;
- снижению напряжений в стенке ездового пояса в середине пролета на 19 %;
- значительному перераспределению усилий в верхней полке ездового пояса в узле примыкания элементов решетки.



Исследования влияния жесткости узловых соединений на напряжения в ездовом поясе носит теоретический характер, т. к. в моделях с пластинчатым ездовым поясом и стержневой решеткой при жестком креплении элементов решетки работа конструкции уподобляется многопролетной балке, а при шарнирном креплении элементов – однопролетной балке длиной, соответствующей пролету ППФ [3]. При этом проведенное исследование наглядно показывает необходимость корректного учета работы решетки для обеспечения точности расчета ездового пояса.

4. Выполнение нелинейного расчета нецелесообразно, т. к. нелинейная работа отдельных зон ездового пояса ППФ не вносит значительных изменений в работу всей конструкции.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лампси, Б. Б. Оценка влияния особенностей конструкции и нагрузки на напряженное состояние и прочность ездовых поясов систем типа подкраново-подстропильных ферм : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.23.01, 01.02.03 / Лампси Борис Борисович ; Горьковский ордена трудового красного знамени инженерно-строительный институт им. В. П. Чкалова. – Горький, 1983. – 220 с.

2. Еремин, К. И. Напряженно-деформированное состояние узлов подкраново-подстропильных ферм / К. И. Еремин, С. Н. Шульга // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 4. – С. 52–54.

3. Лампси, Б. Б., Хазов П. А., Маркина Ю. Д., Бриккель Д. М. Влияние жесткости элементов решетки на податливость ездового пояса подкраново-подстропильной фермы (ППФ) / Б. Б. Лампси, П. А. Хазов, Ю. Д. Маркина, Д. М. Бриккель // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 2. – С. 29–37.

4. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – Москва [и др.] : Изд-во СКАД Софт [и др.], 2011. – 709 с. : ил., табл. – ISBN 978-5-903683-12-3.

5. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. – Москва : Минстрой России, 2016. – 80 с.

**LAMPSI Boris Borisovich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of theory of structures and technical mechanics; MARKINA Yuliya Dmitrievna, assistant of the chair of theory of structures and technical mechanics; KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics, head of the laboratory for continuous monitoring of the technical condition of buildings and structures**

#### THE INFLUENCE OF THE HEIGHT OF A CRANE-SUB-TRUSS (PPF) ON THE PLIABILITY OF THE RIDING BELT

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96;

e-mail: tstm@nngasu.ru, lampsi@yandex.ru, poluektoff@bk.ru, khazov.nngasu@mail.ru

*Key words:* crane-sub-truss, PPF, elastic supports, angular compliance, linear compliance, stiffness, riding belt, stiffness of elastic supports.

---

*The article presents the results of analysis of the influence of the ratio of the height of the PPF and its length on the angular and linear compliance of the PPF riding belt, as well as that of the stiffness of the nodal joints on the stresses in the driving belt. The expediency of performing a nonlinear calculation for the nonlinear operation of individual zones of the PPF driving belt is analyzed.*



REFERENCES

1. Lamps B. B. Otsenka vliyaniya osobennostey konstruktssii i nagruzki na napryazhyonnoe sostoyanie i prochnost ezdovykh poyasov sistem tipa podkranovo-podstropilnykh ferm [Assessment of the influence of the design features and load on the stress state and strength of the riding belts of the systems such as crane-sub-trusses]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. 01.02.03 / Gorkovskiy ordena trudovogo krasnogo znameniy inzhenerno-stroitelnyy institut im. V. P. Chkalova. Gorky, 1983. – 220 p.
2. Eryomin K. I., Shulga S. N. Napryazhyonno-deformirovannoye sostoyaniye uzlov podkranovo-podstropilnykh ferm [The stress-strain state of sub-assemblies of crane-sub-trusses] // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]. – 2012. – № 4. – P. 52–54.
3. Lamps B. B., Khazov P. A., Markina Yu. D., Brikkel D. M. Vliyaniye zhyostkosti elementov reshyotki na podatlivost ezdovogo poyasa podkranovo-podstropilnoy fermy (PPF) [The effect of the rigidity of the grid elements on the pliability of the crane-sub-truss riding belt (PPF)] // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitekturo-stroitelnyy un-t. – Nizhny Novgorod, 2022. – № 2. – P. 29–37.
4. Perelmuter A. V., Slivker V. I. Raschyotnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost ikh analiza [Design models of structures and the possibility of their analysis]. – Izd. 4-e, pererab. i dop. Moscow: Izd-vo SKAD Soft, 2011. – 709 p. : il., tabl. – ISBN 978-5-903683-12-3.
5. SP 20.13330.2016 Nagruzki i vozdeystviya [Nagruzki i vozdeystviya]: aktualizirivannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85\*. – Moscow: Minstroy Rossii, 2016. – 80 p.

© Б. Б. Лампси, Ю. Д. Маркина, П. А. Хазов, 2023

Получено: 02.12.2022 г.

УДК 624.046

**П. А. ХАЗОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики, зав. лабораторией непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений; **Е. А. ЧИБАКОВА**, студент; **Г. А. КАЛИНИНА**, студент; **А. П. ПОМАЗОВ**, аспирант кафедры теории сооружений и технической механики, ассистент кафедры строительных конструкций

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА НОРМАТИВНЫХ МЕТОДИК РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919;  
эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru

*Ключевые слова:* центрально-сжатый стержень, стальная труба, устойчивость, коэффициент продольного изгиба.

---

*Приведены результаты испытаний круглых стальных труб различных длин и сечений на центральное сжатие. В результате потери устойчивости определены критические силы. По соотношениям критических сил выполнена оценка значений коэффициентов продольного изгиба. Выполнен расчет потери устойчивости по нормативной методике с учетом экспериментальных данных.*