



УДК 624.014.2

Ю. Д. МАРКИНА, ст. преп. кафедры теории сооружений и технической механики

## РАСЧЕТ ПОДКРАНОВО-ПОДСТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ С УЧЕТОМ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ УЗЛОВ ПРИМЫКАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РЕШЕТКИ К ЕЗДОВОМУ НИЖНЕМУ ПОЯСУ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: tstm@nngasu.ru, poluektoff@bk.ru

*Ключевые слова:* подкрановые конструкции, металлические конструкции, методика расчета, НДС, МКЭ, аналитический расчет.

---

*До настоящего времени отсутствовала методика предварительного расчета подкраново-подстропильных ферм. Методика аналитического расчета, рекомендуемая Руководством по проектированию стальных подкрановых конструкций, не учитывает жесткость узловых соединений и вовлечение в пространственную работу ездового пояса на горизонтальный изгиб и кручение других элементов конструкции. В данной статье приведено сравнение результатов расчета подкраново-подстропильной фермы по составленной аналитической методике предварительного расчета с результатами расчета по аналитической методике Руководства по проектированию стальных подкрановых конструкций и результатами численных расчетов.*

---

### Введение

Подкраново-подстропильные фермы (ППФ) – уникальные большепролетные конструкции, одновременно выполняющие функции подстропильных и подкрановых ферм [1]. Ездовой нижней пояс предназначен не только для работы на вертикальный изгиб, но и на кручение, вызываемое односторонним расположением крана [2, 3], а также на горизонтальный изгиб, вызываемый торможением тележки крана [4]. Пояс, по которому перемещается кран, представляет собой призматическую складчатую систему, изучением работы которой на основе теории тонкостенных стержней В. З. Власова и А. А. Уманского [5-7] занимались Б. Б. Лампси, Е. А. Бейлин и др. [8, 9].

До настоящего времени отсутствовала методика предварительного расчета ППФ. Методика аналитического расчета, приведенная в [10], не учитывает жесткость узловых соединений и вовлечение в пространственную работу ездового пояса на горизонтальный изгиб и кручение других элементов конструкции. В исследованиях [11-14] представлены положения разработанной методики определения усилий в элементах ППФ с учетом влияния узлов сопряжения элементов решетки с ездовым поясом на его пространственную работу. В монографии [15] приведена составленная методика предварительного расчета ППФ.

В статьях [13, 14] приведено сравнение результатов расчетов ППФ с результатами натурных измерений. В данной статье приведено сравнение результатов расчета продольной ППФ по составленной аналитической методике предварительного расчета [15] с результатами расчета по аналитической методике



Руководства по проектированию стальных подкрановых конструкций [10] и результатами численных расчетов.

#### Методы исследования

Объект исследования – ППФ конвертерного отделения кислородно-конвертерного цеха Магнитогорского металлургического комбината. Тип конструкции – продольная ППФ с неразрезным нижним поясом, пролет – 36 м, высота – 15,44 м (рис. 1).

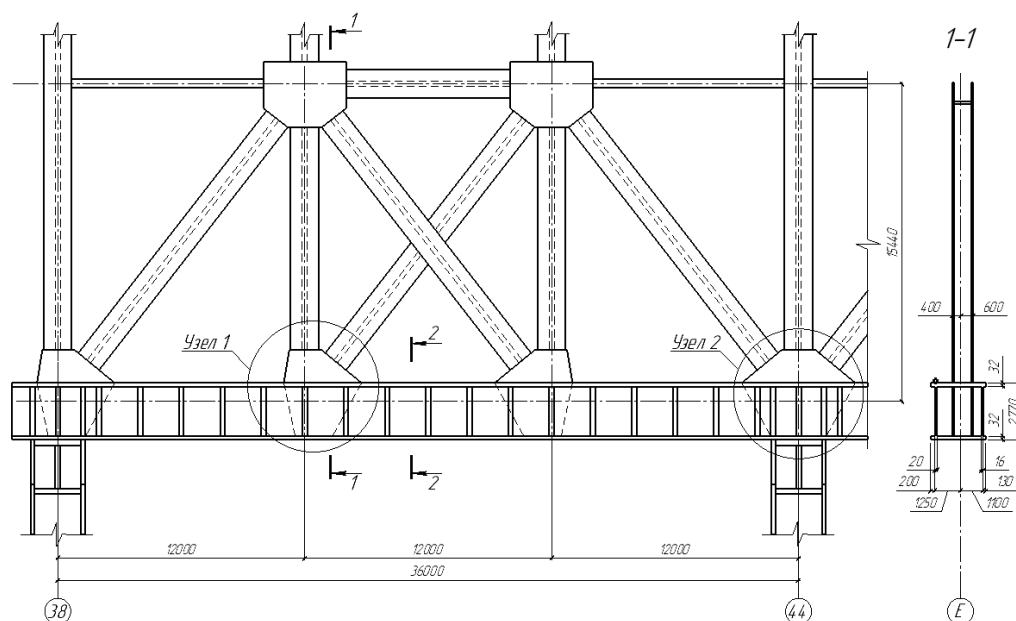


Рис. 1. Объект исследования

Рассмотрены следующие виды нагрузок и воздействий:

- нагрузки от собственного веса ППФ и веса поддерживаемых ею элементов конструкций (стропильные фермы, конструкций покрытия и т.п.);
- вертикальное давление мостового крана;
- горизонтальное воздействие крана.

Методики расчета:

- Аналитическая в соответствии с рекомендациями [10];
- Предлагаемая аналитическая методика [15];
- Численный расчет плоской стержневой модели однопролетной ППФ [16] (рис. 2);

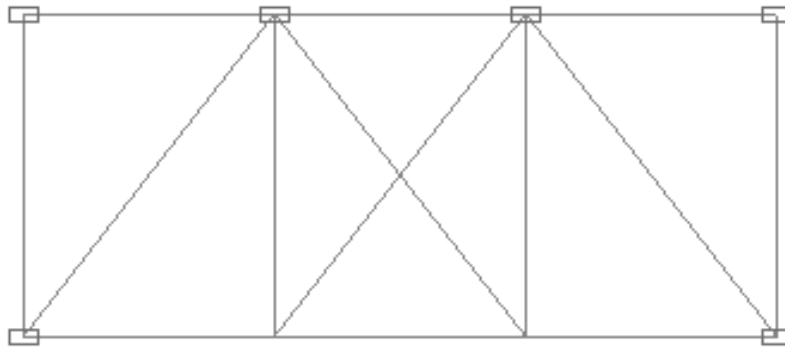


Рис. 2. Модель для расчета по методике № 3

4. Численный расчет плоской стержневой модели неразрезной ППФ (рис. 3);

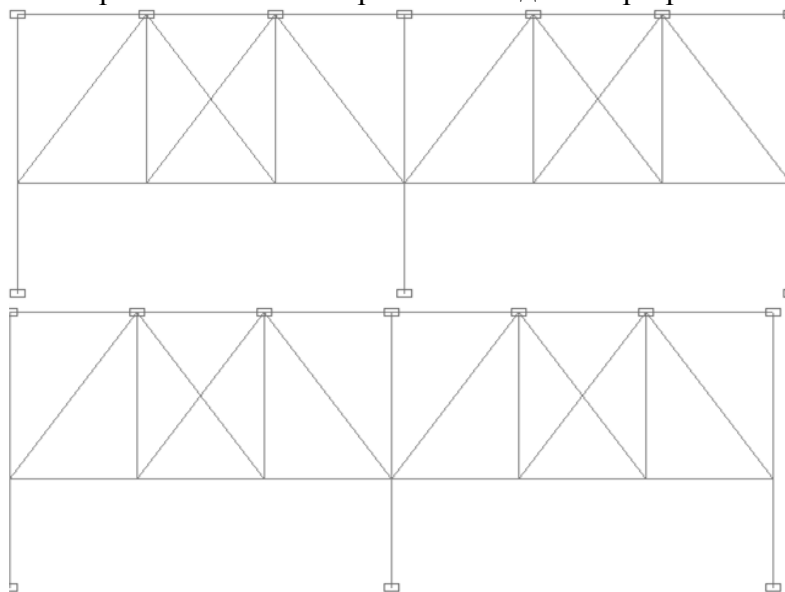


Рис. 3. Модель для расчета по методике № 4

5. Численный расчет пространственной модели из оболочечных конечных элементов (рис. 4).

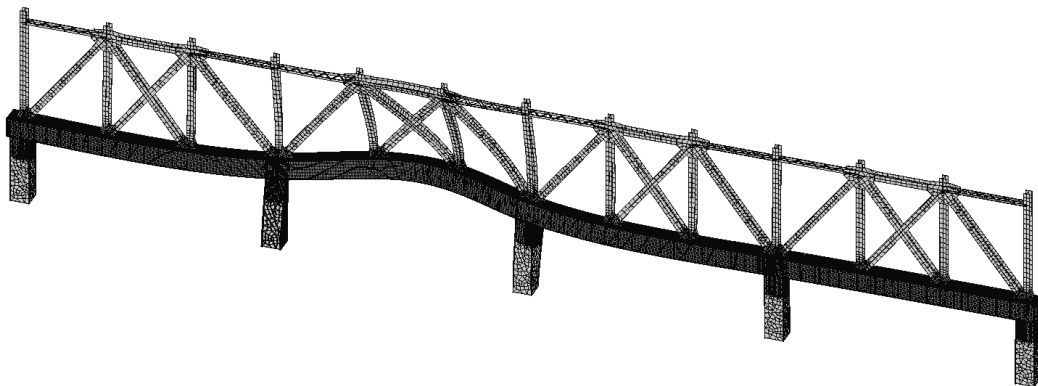


Рис. 4. Деформации модели для расчета по методике № 5 при горизонтальной нагрузке от торможения крана в середине пролета



Перечисленными методиками определены усилия и напряжения в середине пролета (сечение 2–2 рис. 1) для каждого из указанных выше видов нагрузки. Загружение осуществлялось одним краном грузоподъемностью 450 т. Вес груза – 396 т. Рассмотрены два наиболее опасных [17, 18] положения крана – в середине пролета и на опоре. Значение горизонтальной нагрузки от торможения тележки определено по [15] в соответствии с указаниями СП 20.13330.2016.

### Результаты

Результаты определения напряжений приведены на рис. 5 и 6.

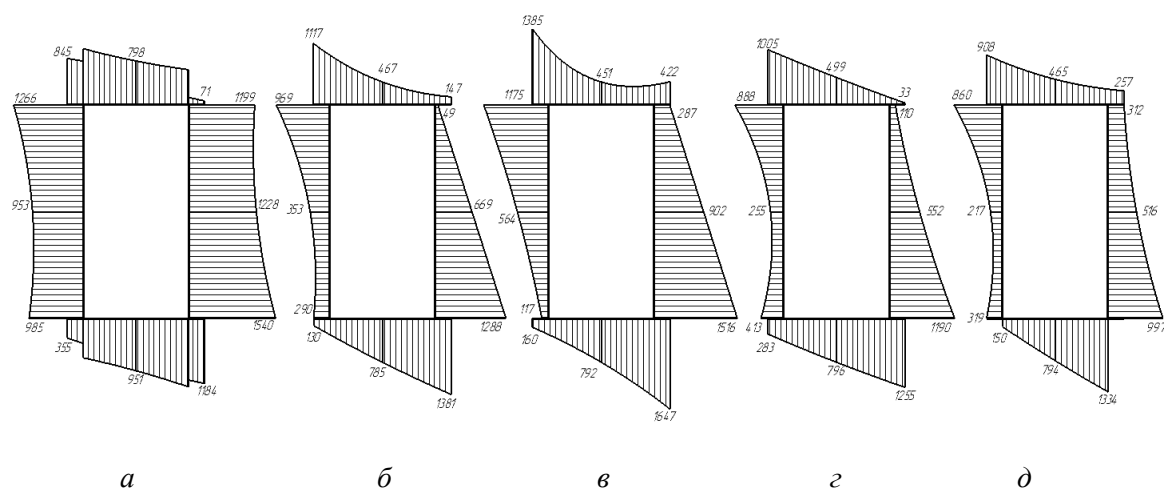
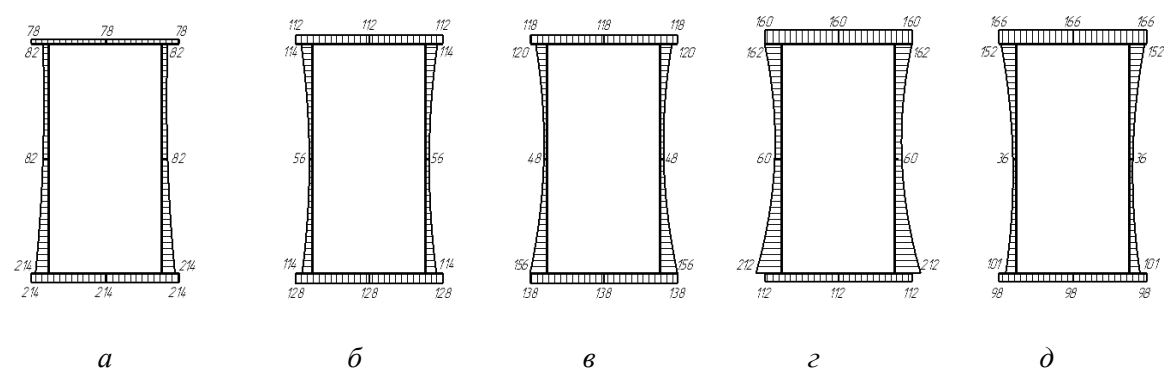


Рис. 5. Эпюры эквивалентных напряжений [кгс/см<sup>2</sup>] ездового пояса в середине пролета (сечение 2–2 рис. 1), полученные: а – по методике № 1; б – по методике № 2; в – по методике № 3; г – по методике № 4; д – по методике № 5 (постоянная и крановая нагрузки)



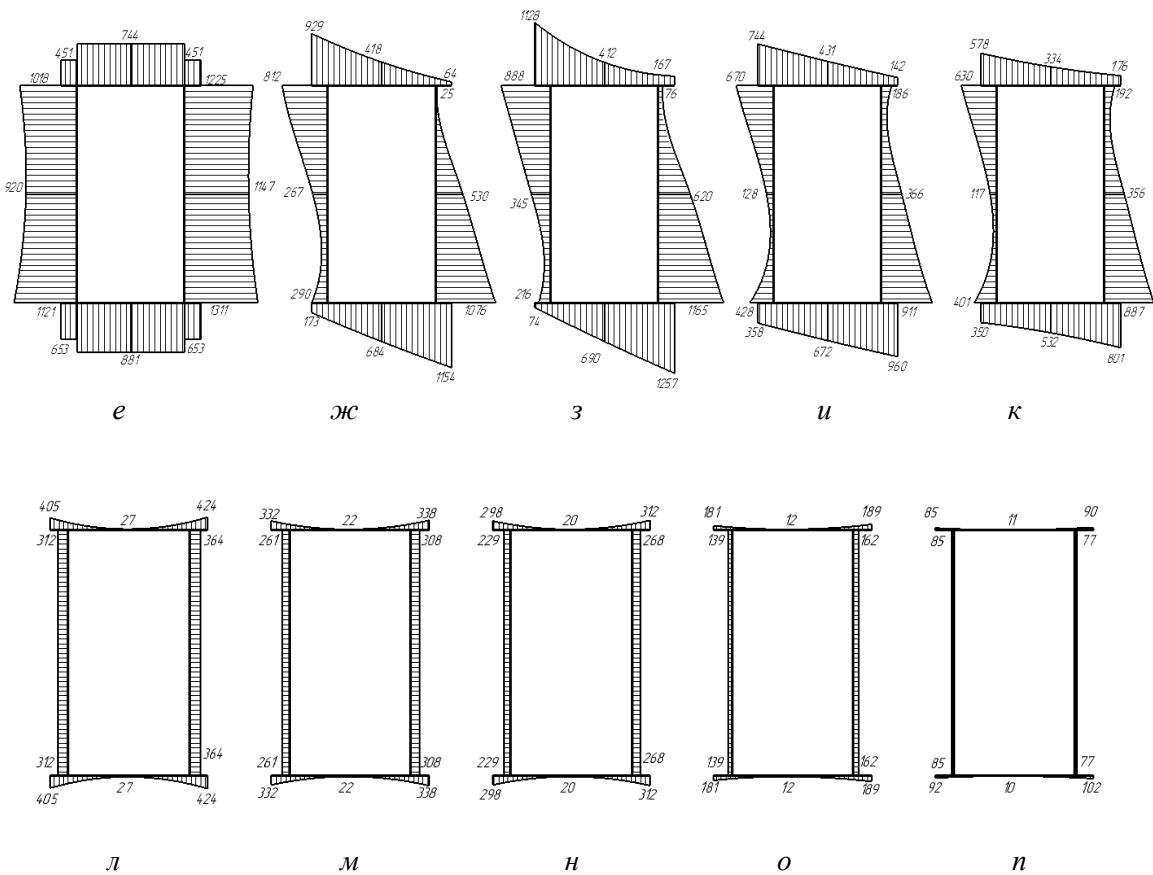


Рис. 6. Эпюры эквивалентных напряжений [кгс/см<sup>2</sup>] ездового пояса в середине пролета (сечение 2–2 рис. 1), полученные: а – по методике № 1; б – по методике № 2; в – по методике № 3; г – по методике № 4; д – по методике № 5 (постоянная нагрузка); е – по методике № 1; ж – по методике № 2; з – по методике № 3; и – по методике № 4; к – по методике № 5 (нагрузка от крана с одной стороны в середине пролета); л – по методике № 1; м – по методике № 2; н – по методике № 3; о – по методике № 4; п – по методике № 5 (нагрузка от торможения тележки крана в середине пролета)

При переходе от пространственной к плоской КЭ модели максимальные напряжения в рассматриваемом сечении:

- при вертикальном изгибе в стенках возрастают на 6 %, в верхней полке снижаются на 4 %, в нижней полке возрастают на 14 %;
- при кручении в стенках возрастают на 3 %, в верхней полке – на 22 %, в нижней полке – на 17 %;
- при горизонтальном изгибе в стенках и полках возрастают более чем в 2 раза.

При переходе от плоской неразрезной к плоской однопролетной конечно-элементной модели максимальные напряжения в рассматриваемом сечении:

- при вертикальном изгибе в стенках и верхней полке снижаются на 24 %, в нижней полке возрастают на 19 %;
- при кручении в стенках и нижней полке возрастают на 22 %, в верхней полке – на 34 %;
- при горизонтальном изгибе в стенках и полках возрастают на 40%.



Погрешность в определении максимальных напряжений предложенной аналитической методикой относительно однопролетной плоской стержневой расчетной модели составляет:

- при вертикальном изгибе в стенках – 27 %, в полках – 5 %;
- при кручении в стенках и нижней полке – 8 %, в верхней полке – 18 %;
- при горизонтальном изгибе в стенках и полках – 12 %.

Погрешность в определении максимальных напряжений аналитической методикой [10] относительно однопролетной плоской стержневой расчетной модели составляет:

- при вертикальном изгибе в стенках – 27 %, в верхней полке – 34 %, в нижней полке – 50 %;
- при кручении в стенках – 21 %, в верхней полке – 54 %, в нижней полке – 30 %;
- при горизонтальном изгибе в стенках и полках – 30 %.

Погрешность в определении максимальных напряжений численным расчетом по однопролетной плоской стержневой расчетной модели относительно пространственной неразрезной расчетной модели составляет:

- при вертикальном изгибе в стенках – 21 %, в полках – 29 %;
- при кручении в стенках – 29 %, в верхней полке – 49 %, в нижней полке – 56 %;
- при горизонтальном изгибе напряжения в плоской модели более чем в три раза выше напряжений в пространственной модели.

Погрешность в определении максимальных напряжений предложенной аналитической методикой относительно пространственной неразрезной расчетной модели составляет:

- при вертикальном изгибе в стенках и верхней полке – 31 %, в нижней полке – 23 %;
- при кручении в стенках – 18 %, в верхней полке – 38 %, в нижней полке – 30 %;
- при горизонтальном изгибе напряжения, полученные аналитическим расчетом, также как и напряжения, полученные численным расчетом по плоской модели, более чем в три раза выше напряжений в пространственной модели.

Погрешность в определении максимальных напряжений аналитической методикой [10] относительно пространственной неразрезной расчетной модели составляет:

- при вертикальном изгибе напряжения, полученные аналитическим расчетом, более чем в два раза выше напряжений в пространственной модели;
- при кручении в верхней полке – 23 %, в нижней полке – 9 %, в стенках напряжения, полученные аналитическим расчетом, в полтора раза выше напряжений в пространственной модели;
- при горизонтальном изгибе напряжения, полученные аналитическим расчетом, более чем в четыре раза выше напряжений в пространственной модели.

Существенное снижение точности результатов расчета происходит при переходе от неразрезной к разрезной модели [19, 20]. Необходимо рассмотреть возможность разработки метода учета неразрезности многопролетных ППФ на стадии предварительного расчета. Проверочный расчет многопролетных ППФ следует проводить по неразрезной модели [21].



Формы эпюр эквивалентных напряжений от постоянной и тормозной крановой нагрузок, полученных различными методами, совпадают. При горизонтальном изгибе ездового пояса аналитические расчеты и численные расчеты с применением плоских стержневых расчетных схем дают значительную погрешность в определении напряжений относительно пространственной расчетной схемы. Вклад составляющей от горизонтального изгиба, вызванного торможением крановой тележки, в общее напряженное состояние не превышает 10% [13]. Минимальная погрешность в определении напряжений от горизонтального изгиба при аналитических и численных расчетах с использованием плоских стержневых систем – более 200 % [14]. Требуется дополнительное исследование напряженно-деформированного состояния ППФ при горизонтальном изгибе для оценки необходимости учета нагрузки от торможения тележки крана на стадии предварительного расчета и разработки более точных методов определения напряжений в ездовом поясе ППФ при горизонтальном изгибе. Проверочный расчет ППФ следует проводить по пространственной расчетной схеме с применением оболочечных конечных элементов [12, 14, 21].

Форма эпюры эквивалентных напряжений от односторонне приложенной вертикальной крановой нагрузки, полученная ранее используемой аналитической методикой, имеет искаженную форму относительно эпюр, полученных другими методами. С каждым шагом упрощения расчетной схемы точность определения напряжений снижается. Это подтверждает необходимость использования на стадии проверочного численного расчета пространственной модели из оболочечных конечных элементов.

Предложенная аналитическая методика предварительного расчета позволяет значительно увеличить точность определения напряжения в сравнении с ранее используемой аналитической методикой [10]. Точность определения максимальных напряжений в рассматриваемом сечении (сечение 2–2 рис. 1) относительно результатов численного расчета пространственной модели в сравнении с методикой [10] возрастает:

- при вертикальном изгибе в стенках – на 16 %, в верхней полке – на 20 %, в нижней полке – на 86 %;
- при кручении, вызванном односторонне приложенной крановой нагрузкой – на 27 %;
- при горизонтальном изгибе, вызванном торможением тележки крана, в стенках – на 23 %, в верхней и нижней полках – на 96 %.

Выполнена проверка по предельным состояниям.

При выполнении расчета по предельным состояниям приложены все нагрузки в соответствии с пунктом 4.1 [15].

Наибольшие напряжения возникают в ездовом поясе в зоне примыкания к верхней полке стенки и опорной диафрагмы и зоне стыка ребер жесткости с поясами и стенкой [17, 18].

Максимальное напряжение при расположении двух кранов в середине пролета в зоне сопряжения прорезной фасонки с опорной диафрагмой  $\sigma_{max} = 55779 \text{ кгс/см}^2 > [\sigma]_{max} = 52000 \text{ кгс/см}^2$ , что соответствует результатам натуральных измерений [22, 23].

Проверка по второй группе предельных состояний по вертикальному предельному прогибу:





$$f = 20,8 \text{ мм} < f_u = \frac{36000}{600} = 60 \text{ мм.}$$

Проверка по второй группе предельных состояний по горизонтальному предельному прогибу в соответствии с прил. Д СП 20.13330.2016 проводится от сил торможения тележки одного крана:

$$f_T = 3,5 \text{ мм} < f_u = \frac{36000}{2000} = 18 \text{ мм.}$$

Так как при кручении ездовой пояс ППФ испытывает горизонтальный изгиб, в проверку по горизонтальным предельным прогибам следует включать составляющую горизонтального перемещения от несимметричной вертикальной нагрузки, вызванной односторонним расположением крана:

$$f_{T+K} = 8,5 \text{ мм} < f_u = \frac{36000}{2000} = 18 \text{ мм.}$$

#### **Выводы:**

1. Предложенная аналитическая методика предварительного расчета позволяет значительно увеличить точность определения напряжения в сравнении с ранее используемой аналитической методикой.

2. Проверка по второй группе предельных состояний осуществляется в соответствии с СП 20.13330.2016, который не выделяет ППФ среди других подкрановых конструкций. Прогиб рекомендуется определять от сил торможения тележки одного крана, направленных поперек пути. При кручении ездовой пояс ППФ испытывает горизонтальный изгиб, вклад в общее горизонтальное перемещение составляющей от несимметричной вертикальной нагрузки, вызванной односторонним расположением крана, может превышать вклад от горизонтальной нагрузки, вызванной торможением тележки. При проверке ППФ по второй группе предельных состояний по горизонтальным предельным прогибам необходимо учитывать в расчете не только горизонтальные силы от торможения тележки крана, но и несимметричные вертикальные нагрузки от его одностороннего расположения.

3. При горизонтальном изгибе ездового пояса, вызванном торможением тележки крана, плоские стрелевые расчетные модели дают значительную погрешность в определении перемещений и напряжений относительно пространственной расчетной модели. Требуется дополнительное исследование напряженно-деформированного состояния ППФ при горизонтальном изгибе для оценки необходимости учета нагрузки от торможения тележки крана на стадии предварительного расчета и разработки более точных методов определения напряжений в ездовом поясе ППФ при горизонтальном изгибе. При переходе от неразрезной к разрезной расчетной модели происходит существенное снижение точности результатов расчета. Необходимо рассмотреть возможность разработки метода учета неразрезности многопролетных ППФ на стадии предварительного расчета.

Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта «Фундамент будущего», который проводится в рамках программы развития ННГАСУ,





реализуемой по программе академического лидерства «Приоритет 2030», в аспекте развития научно-исследовательской политики университета.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ельников, Н. А. Анализ применения систем типа «подкраново-подстропильные фермы» в большепролетных цехах одноэтажных промышленных зданий / Н. А. Ельников, Е. А. Кочетова. – Текст : непосредственный // 14-ый российский архитектурно-строительный форум, 17–20 мая 2016 г : труды конгресса / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2016. – С. 143–146.

2. Mentraști, L. Torsion of closed cross-section thin-walled beams : the influence of shearing strain / L. Mentraști // Thin-Walled Structures. – 1987. – Vol. 5. – No. 4. – P. 277–305.

3. Mentraști, L. Distortion (and torsion) of rectangular thin-walled beams / L. Mentraști // Thin-Walled Structures. – 1990. – Vol. 10. – No. 3. – P. 175–193.

4. Rykaluk, K. Fatigue hazards in welded plate crane runway girders-locations, causes and calculations / K. Rykaluk, K. Marcinczak, S. Rowicki // Archives of Civil and Mechanical Engineering. – 2018. – No. 18. – P. 69–82.

5. Уманский, А. А. Кручение и изгиб тонкостенных авиаконструкций / А. А. Уманский. – Москва : Оборониздат, 1939. – 112 с. – Текст : непосредственный.

6. Власов, В. З. Строительная механика тонкостенных пространственных систем / В. З. Власов. – Москва : Гостехиздат, 1950. – 695 с. – Текст : непосредственный.

7. Власов, В. З. Избранные труды : в 3-х томах. Том 2. Тонкостенные упругие стержни. Принципы построения общей технической теории оболочек. – Москва : АН СССР, 1963. – 328 с. – Текст : непосредственный.

8. Лампси, Б. Б. Металлические тонкостенные несущие конструкции при локальных нагрузках / Б. Б. Лампси. – Москва : Стройиздат, 1979. – 270 с. – Текст : непосредственный.

9. Бейлин, Е. А. Вариант единой теории кручения тонкостенных стержней открытого, замкнутого и частично замкнутого профилей / Е. А. Бейлин. – Текст : непосредственный // Исследования по механике строительных конструкций и материалов. Межвузовский тематический сборник трудов. – Ленинград : ЛИСИ, 1991. – С. 57–74.

10. Руководство по проектированию стальных подкрановых конструкций. – Москва : ЦНИИПроектстальконструкция, 1976. – 112 с. – Текст : непосредственный.

11. Лампси, Б. Б. Жесткость узлов подкраново-подстропильной фермы в её плоскости / Б. Б. Лампси, Ю. Д. Маркина. – Текст : электронный // Строительная механика и конструкции. – 2023. – № 4 (39). – С. 51–63. – DOI 10.36622/VSTU.2023.39.4.006.

12. Markina, Yu. D. Verification and refinement of the methodology for calculating the stiffness of crane secondary truss joints in its plane / Yu. D. Markina. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 1 (69). – С. 11–21.

13. Маркина, Ю. Д. Кручение нижнего пояса подкраново-подстропильной фермы / Ю. Д. Маркина. – Текст : электронный // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2023. – № 11. – С. 27–36. – DOI 10.34031/2071-7318-2023-8-11-27-36.

14. Маркина, Ю. Д. Напряженное состояние нижнего пояса подкраново-подстропильной фермы при стесненном кручении / Ю. Д. Маркина. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2024. – № 7 (102). – С. 36–43.

15. Лампси, Б. Б. Подкраново-подстропильные фермы. Особенности конструкции, работы и расчёта : монография / Б. Б. Лампси, Ю. Д. Маркина ; Нижегородский



государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2024. – 169 с. – ISBN 978-5-528-00557-7. – Текст : непосредственный.

16. Лампси, Б. Б. Влияние высоты подкраново-подстропильной фермы (ППФ) на податливость ездового пояса / Б. Б. Лампси, Ю. Д. Маркина, П. А. Хазов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 1 (65). – С. 28–34.

17. Еремин, К. И. Особенности эксплуатации металлических конструкций промышленных зданий : монография / К. И. Еремин ; Московский государственный строительный университет. – Москва : МГСУ, 2012. – 248 с. – ISBN 978-5-7264-0651-0. – Текст : непосредственный.

18. Еремин, К. И. Моделирование развития усталостных повреждений в подкраново-подстропильных фермах / К. И. Еремин, С. Н. Шульга. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2014. – № 5 – С. 30–38.

19. Нежданов, К. К., Горькин, И. Н. Преимущества использования неразрезных подкрановых конструкций / К. К. Нежданов, И. Н. Горькин. – Текст : непосредственный // Вестник ПГУАС : строительство, наука и образование. – 2018. – № 1 (6). – С. 9–16.

20. Нежданов, К. К. Результаты испытаний неразрезных подкрановых конструкций / К. К. Нежданов, И. Н. Горькин, Д. Х. Курткеев. – Текст : непосредственный // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 3 (44). – С. 78–83.

21. Tusnina, O. A. Finite element analysis of crane secondary truss / O. A. Tusnina // Magazine of civil engineering. – 2018. – No. 1 (77). – P. 68–89. – DOI 10.18720/MCE.77.7.

22. Еремин, К. И. Закономерность повреждений подкраново-подстропильных ферм на стадии эксплуатации / К. И. Еремин, С. Н. Шульга. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 4. – С. 34–36.

23. Еремин, К. И., Шульга, С. Н. Влияние эксцентриситета на напряженно-деформированное состояние верхней зоны стенок подкраново-подстропильных ферм / К. И. Еремин, С. Н. Шульга. – Текст : непосредственный // Наука и безопасность. – 2015. – № 5 (18). – С. 49–52.

**MARKINA Yuliya Dmitrievna, senior teacher of the chair of theory of structures and technical mechanics**

### **CALCULATION OF CRANE SECONDARY TRUSSES, TAKING INTO ACCOUNT THE ELASTIC COMPLIANCE OF THE NODES OF THE JUNCTION OF THE GRID ELEMENTS TO THE RIDING LOWER BELT**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Pjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-54-96; e-mail: tstm@nngasu.ru, poluektoff@bk.ru

*Key words:* crane structures, metal structures, calculation method, stress-strain state, finite element method, analytical calculation.

---

*The method of preliminary calculation of the crane secondary trusses has not been available so far. The analytical calculation method recommended by the Guidelines for the Design of steel crane structures did not consider the rigidity of the nodal joints and the involvement of the horizontal bending and torsion of other structural elements in the spatial work of the riding belt. A comparison of the results of the calculation of the crane secondary truss according to the compiled analytical methodology of the preliminary calculation with the results of the calculation according to the analytical methodology of the Guidelines for the design of steel crane structures and the results of numerical calculations is given in this article.*

## REFERENCES

1. Elnov N. A. Kochetova E. A. Analiz primeneniya sistem tipa «podkranovo-podstropilnye fermy» v bolsheproletnykh tsekhakh odnoetazhnykh promyshlennykh zdaniy [Analysis of the application of systems such as «crane secondary trusses» in large-span workshops of single-storey industrial buildings]. Trudy nauchnogo kongressa 14-go rossiyskogo arkhitekturno-stroitel'nogo foruma [Proceedings of the scientific congress of the 14th Russian architectural and construction forum]. 2016, P. 143–146.
2. Mentrasti L. Torsion of closed cross-section thin-walled beams: the influence of shearing strain. *Thin-Walled Structures*. 1987, vol. 5, No.4, P. 277–305.
3. Mentrasti L. Distortion (and torsion) of rectangular thin-walled beams. *Thin-Walled Structures*. 1990, Vol. 10, No. 3, P. 175–193.
4. Rykaluk K., Marcinczak K., Rowicki S. Fatigue hazards in welded plate crane runway girders-locations, causes and calculations. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2018, No. 18, P. 69-82.
5. Umanskiy A. A. Kruchenie i izgib tonkostennykh aviakonstruktsiy [Torsion and bending of thin-walled aircraft structures]. Moscow, Oboronizdat, 1939, 112 p.
6. Vlasov V. Z. Stroitel'naya mekhanika tonkostennykh prostranstvennykh sistem [Structural mechanics of thin-walled spatial systems]. Moscow, Gostekhizdat, 1950, 695 p.
7. Vlasov V. Z. Tonkostennyye uprugie sterzhni. Printsipy postroeniya obshchey tekhnicheskoy teorii obolochek [Thin-walled elastic rods. Principles of construction of the general technical theory of shells]. *Izbrannyye Trudy*. Moscow, Izd-vo AN USSR, 1963, Vol. 2, 328 p.
8. Lampsy B. B. Metallicheskie tonkostennyye nesushchie konstruktsii pri lokalnykh naruzkakh [Thin-walled metal load-bearing structures under local loads]. Moscow, Strojizdat, 1979, 270 p.
9. Beylin E. A. Variant edinoy teorii krucheniya tonkostennykh sterzhney otkrytogo, zamknutogo i chastichno zamknutogo profilya [A variant of the unified theory of torsion of thin-walled rods of open, closed and partially closed profiles]. *Issledovaniya po mekhanike stroitel'nykh konstruktsiy i materialov* [Research on the mechanics of building structures and materials]. *Mezhvuzovskiy tematicheskii sbornik trudov*, 1991, P. 57-74.
10. Rukovodstvo po proektirovaniyu stalnykh podkranovykh konstruktsiy [Guide to the design of steel crane structures]. Moscow, TsNIIProektstalkonstruktsiya, 1976, 112 p.
11. Lampsy B. B., Markina Yu. D. Zhestkost uzlov podkranovo-podstropilnoy fermy v eyo ploskosti [Stiffness of the crane secondary truss nodes in its plane]. *Stroitel'naya mekhanika i konstruktsii* [Construction mechanics and structures]. 2023, №. 4 (39), P. 51–63. DOI 10.36622/VSTU.2023.39.4.006.
12. Markina Yu. D. Verification and refinement of the methodology for calculating the stiffness of crane secondary truss joints in its plane. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. 2024, №. 1 (69), P. 11-21.
13. Markina Yu. D. Kruchenie nizhnego poyasa podkranovo-podstropilnoy fermy [Torsion of the lower chord of the crane secondary truss]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova* [Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov]. 2023, №. 11, P. 27–36. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-11-27-36.
14. Markina Yu. D. Napryazhennoe sostoyanie nizhnego poyasa podkranovo-podstropilnoy fermy pri stesnennom kruchenii [The stressed state of the lower chord of the crane secondary truss with constrained torsion]. *Vestnik grazhdanskix inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. 2024, №. 7 (102), P. 36-43.
15. Lampsy B. B., Markina Yu. D. Podkranovo-podstropilnye fermy. Osobennosti konstruktsii, raboty i raschyota [Crane secondary trusses. Design, operation and calculation features]: monografiya. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2024, 169 p.



16. Lampsi B. B., Markina Yu. D., Khazov P. A. Vliyanie vysoty podkranovo-podstropilnoy fermy (PPF) na podatlivost ezdovogo poyasa [The effect of the height of the crane secondary truss (CST) on the pliability of the riding chord]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. 2023, № 1 (65), P. 28-34.

17. Eremin K. I., Shuvalov A. N., Pavlova G. A., Matveyushkin S. A., Nashhekin M. V., Alekseeva E. L. Osobennosti ekspluatatsii metallicheskih konstrukciy promyshlennykh zdaniy [Features of operation of metal structures of industrial buildings]: monografiya. pod red. K. I. Eremina. M-vo obrazovaniya i nauki Ross. Federatsii, FGBOU VPO Mosk. gos. str. un-t. Moscow, Izdatelstvo MISI. 2012, 248 p.

18. Eremin K. I., Shulga S. N. Modelirovanie razvitiya ustalostnykh povrezhdeniy v podkranovo-podstropilnykh fermakh [Modeling the development of fatigue damage in crane secondary trusses]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, № 5, P. 30-38.

19. Nezhdanov K. K., Gorkin I. N. Preimushhestva ispolzovaniya nerazreznnykh podkranovykh konstrukciy [Advantages of using continuous crane structures]. *Vestnik PGUAS: stroitelstvo, nauka i obrazovanie* [Bulletin of Penza State University of Architecture and Construction: construction, science and education]. 2018, № 1 (6), P. 9-16.

20. Nezhdanov, K. K., Gorkin I. N., Kurtkeзов D. Kh. Rezultaty ispytaniy nerazreznnykh podkranovykh konstruktsiy [Test results of continuous crane structures]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo* [Regional architecture and construction]. 2020, № 3 (44), P. 78-83.

21. Tushina O. A. Finite element analysis of crane secondary truss. O. A. Tushina. *Magazine of Civil Engineering*. 2018, No. 1(77), P. 68-89. doi: 10.18720/MCE.77.7.

22. Eremin K. I., Shulga S. N. Zakonomernost povrezhdeniy podkranovo-podstropilnykh ferm na stadii ekspluatatsii [The pattern of damage to crane secondary trusses at the stage of operation]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and civil engineering]. 2013, № 4, P. 34-36.

23. Eremin K. I., Shulga S. N. Vliyanie ekstsentrisiteta na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie verkhney zony stenok podkranovo-podstropilnykh ferm [The effect of eccentricity on the stress-strain state of the upper zone of the walls of crane secondary trusses]. *Nauka i bezopasnost* [Science and security]. 2015, № 5(18), P. 49–52.

© Ю. Д. Маркина, 2025

Получено: 27.11.2024 г.