

УДК 69.04

А.В. Воробьев, И.Н. Фаизов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ РАСКОСНОЙ ФЕРМЫ

Описан процесс расчета стропильной фермы ослабленной вырезкой раскоса, моделирующей повреждение в результате эксплуатации. Получен результат расчета, совпадающий на качественном уровне с фактическим состоянием фермы. Выполнен расчет фермы с усиленными элементами. Результаты расчета подтверждают целесообразность запроектованного усиления.

Ключевые слова: стропильная ферма, раскос, конечные элементы, снеговая нагрузка, предел текучести, пластические деформации.

В процессе длительной эксплуатации в строительных конструкциях происходит накопление различного рода повреждений. Повреждения возникают в результате негативного воздействия эксплуатационной среды, механических воздействий и нарушений правил эксплуатации, сопровождающихся нарушением целостности отдельных элементов конструкций.

Так, на одном из промышленных предприятий для беспрепятственного пропуска коммуникаций в стропильной металлической ферме пролетом 24 м был удален раскос во второй панели. В классической расчетной схеме фермы в виде системы шарнирно соединенных между собой стержней удаление одного элемента превращает конструкцию в механизм. Однако опыт эксплуатации показывает, что исключение из работы некоторых элементов решетки не всегда вызывает обрушение конструкции, поскольку реальная расчетная схема не соответствует теоретической [1].

Шарнирная расчетная схема, принимаемая в расчете методами строительной механики, не подходит для решения поставленной задачи. В качестве расчетной схемы принята конструкция с жестким сопряжением элементов, что согласно п. 15.2 [2] является более предпочтительным вариантом.

На рис. 1 представлена схема стропильной фермы. В табл. 1 приведены типы сечений, материалы и прочностные характеристики элементов фермы.

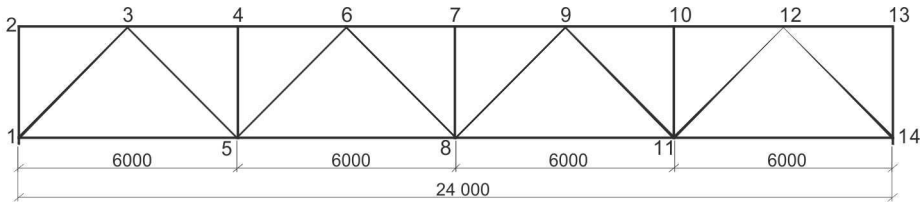


Рис. 1. Схема стропильной фермы

Таблица 1

Элементы стропильной фермы

Элемент	Тип профиля	Материал	σ_T , МПа
Верхний пояс	2 \perp 180×12	C345	320
Нижний пояс	2 \perp 180×12	C345	320
Опорные стойки	I 45Б2	C245	230
1–3, 12–14	2 \perp 180×12	C245	230
3–5, 11–12, 5–6, 9–11	2 \perp 140×9	C245	230
6–8, 8–9, 4–5, 10–11, 7–8	2 \perp 90×7	C245	230

Ферма ослаблена вырезкой раскоса 6–8. Целью расчета является определение причины, по которой стропильная ферма не разрушилась, а также разработка мероприятий по усилению элементов фермы с целью дальнейшей безопасной эксплуатации.

Расчет выполнен в программном комплексе ANSYS.

Для моделирования элементов фермы использованы трехузловые балочные элементы BEAM 189 с квадратичной аппроксимацией. На рис. 2 представлена геометрия конечного элемента. В качестве материала использована билинейная изотропная модель, учитывающая переход стали в пластическое состояние, с пределом текучести для каждого типа стали согласно табл. 1.

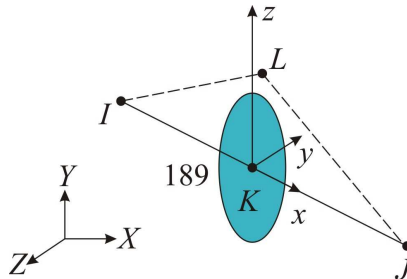


Рис. 2. Геометрия конечного элемента BEAM 189

Сечения балочных элементов заданы в соответствии с конструктивной схемой фермы. Расчетная схема с приложенными нагрузками и граничными условиями представлена на рис. 3.

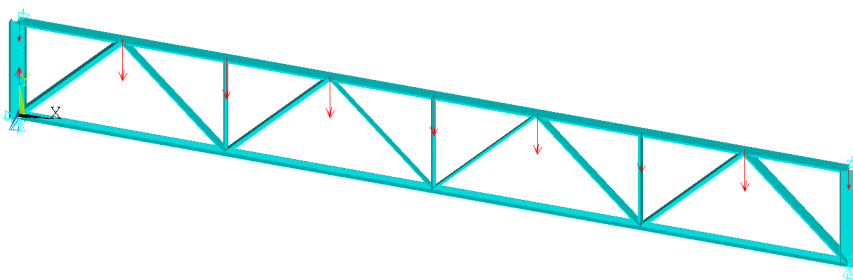


Рис. 3. Расчетная схема

Расчет ослабленной фермы

Расчет ослабленной фермы выполнен в три этапа:

1. Приложение эксплуатационной нагрузки на исправную ферму.
2. Удаление раскоса 6–8.
3. Приложение снеговой нагрузки.

После завершения второго этапа расчета выполнено сохранение деформированного состояния расчетной схемы.

Нагрузка на каждом этапе нагружения прикладывалась ступенчато с автоматическим выбором шага приращения.

На третьем этапе сходимости итерационного процесса не достигнута, приложено 94 % нагрузки от снега [3].

При этом вертикальные перемещения в середине пролета фермы составили 10,9 см (рис. 4), тогда как допустимым по строительным нормам является прогиб, равный $l/250 = 24/250 = 0,096 \text{ м} = 9,6 \text{ см}$ [2].

Разрушение фермы происходит из-за образования пластического шарнира в месте соединения раскоса 5–6 с верхним поясом; изополя пластических деформаций представлены на рис. 5. Распределение напряжений в элементах фермы представлено на рис. 6.

Расчет усиленной фермы

В качестве усиления приняты следующие мероприятия:

- усиление верхнего и нижнего поясов дополнительными уголками;
- усиление раскосов во второй и третьей секциях;
- усиление центральной стойки;
- устройство дополнительной стойки от нижнего пояса к узлу 6.

Ведомость элементов усиления представлена в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Ведомость элементов усиления

Элемент усиления	Тип профиля	Материал	σ_t , МПа
Верхний пояс 4–10	2 L 140×10	C255	230
Нижний пояс 5–11	2 L 140×10	C255	230
Новая стойка	2 L 100×8	C255	230
5–6, 9–11	2 L 100×8	C255	230
3–10	2 L 75×8	C255	230

Расчет усиленной фермы выполнен в два этапа:

1. Загрузка сохраненного в первом расчете деформированного состояния на усиленную расчетную схему.

2. Приложение снеговой нагрузки.

Расчет выполнен, сходимость итерационного процесса достигнута. В результате усиления произошло перераспределение усилий и изменился характер деформирования фермы в районе первой и второй секций. Вертикальные перемещения удовлетворяют требованиям строительных норм и составляют 4,8 см (рис. 7). Максимальные напряжения реализованы в месте крепления центральной стойки к верхнему поясу и составляют 230 МПа (рис. 8). Пластических деформаций в конструкции нет.

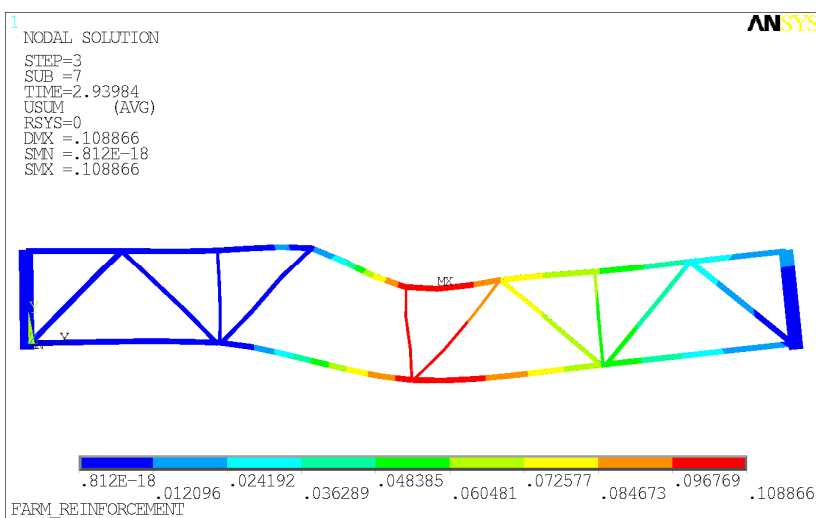


Рис. 4. Вертикальные перемещения в ослабленной ферме, м

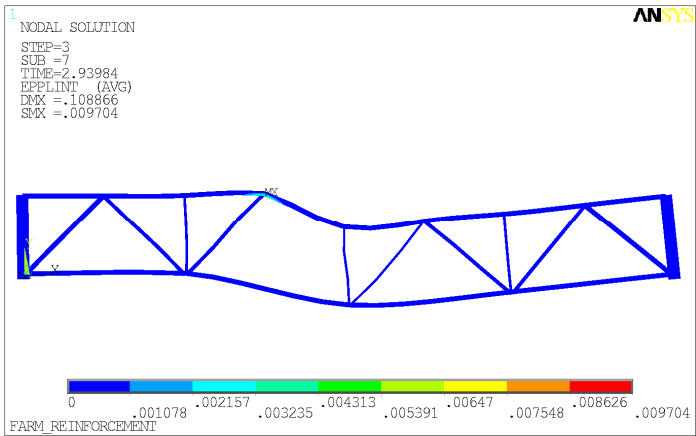


Рис. 5. Образование пластического шарнира

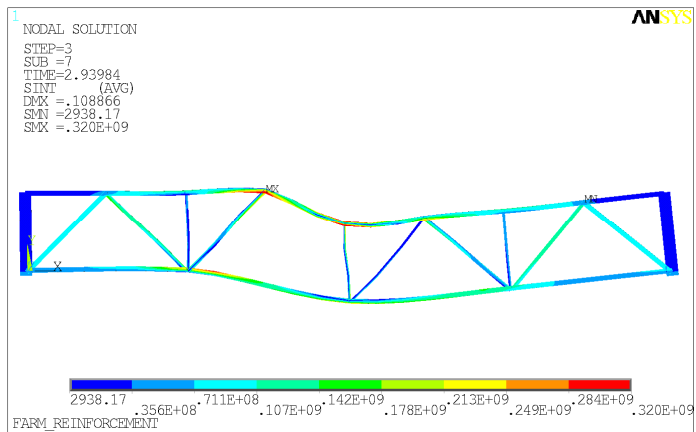


Рис. 6. Распределение напряжений в элементах ослабленной фермы, Па

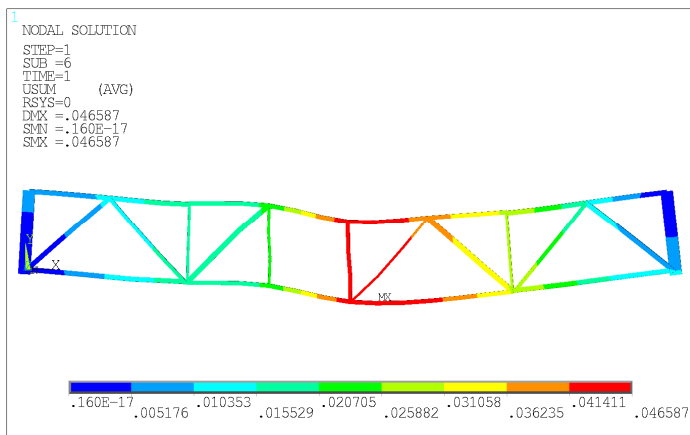


Рис. 7. Вертикальные перемещения в усиленной ферме, м

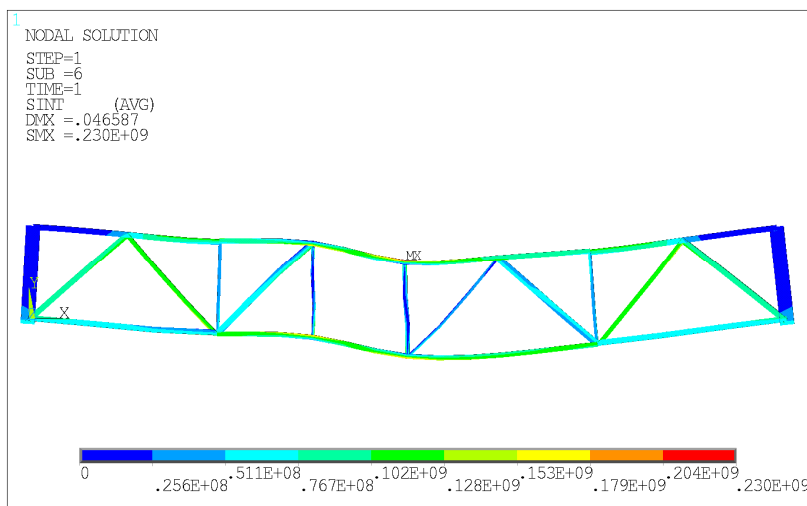


Рис. 8. Распределение напряжений в элементах усиленной фермы, Па

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Фактическое отсутствие разрушения объясняется тем, что за время эксплуатации фермы снеговой покров не достигал нормативного значения.

2. Запроектированное усиление является эффективным и позволяет в дальнейшем безопасно эксплуатировать рассматриваемую ферму. Запас прочности по напряжениям в верхнем поясе фермы составляет 28 %.

Библиографический список

1. Кашеварова Г.Г., Фаизов И.Н., Зобачева А.Ю. Конструктивные меры защиты зданий и сооружений на подработанной территории // Вестник ПГТУ. Строительство и архитектура. – Пермь, 2010. – № 1. – С. 72–77.

2. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции / Мин-во регион. развития Рос. Федерации. – М., 2011. – С. 85–86.

3. СНИП 23-01-99. Строительная климатология // Система нормативных документов в строительстве. Строительные нормы и правила Российской Федерации. – М., 2006. – С. 10.

Получено 2.10.2012

A.V. Vorobiev, I.N. Faisov

GIRDER FRAME REINFORCEMENT DESIGN

Calculation of girder frame weakened by diagonal cutting out is described in this article. Obtained calculation results coincide at qualitative level with real frame condition. Calculation of frame with reinforcing elements has been carried out. Calculation results confirm a suitability (или reasonability) of the reinforcement designed.

Keywords: girder frame, diagonal, finite elements, snow load, yield point, plastic deformations.

Об авторах

Воробьев Александр Владимирович (Пермь, Россия) – студент кафедры «Строительная механика и вычислительные технологии» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: smivt@pstu.ru).

Фаизов Игорь Николаевич (Пермь, Россия) – доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: skstf@pstu.ru).

About the authors

Vorobiev Alexander Vladimirovich (Perm, Russia) – student, Department of Mechanics and computational technologies, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: smivt@pstu.ru).

Faisov Igor Nikolaevich (Perm, Russia) – Associate Professor, Department of Building units, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: skstf@pstu.ru).