



АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ В ПК SCAD OFFICE

Основным методом определения параметров напряженно-деформированного состояния строительных конструкций является метод конечных элементов. Надежность получаемых при этом результатов зависит от корректности выбранной расчетной схемы, а степень детализации расчетной модели определяется исходя из характера решаемой задачи. При проектировании стальных конструкций, как правило, ограничиваются рассмотрением стержневых расчетных моделей. Для детального анализа отдельных участков (например, узлов сопряжения отдельных элементов) составляют детальные расчетные модели из оболочечных или объемных конечных элементов [1]. Такие модели позволяют получить максимально подробную информацию о характере работы конструкций. Металлические стропильные фермы покрытия нашли широкое применение в конструкциях покрытий зданий и сооружений различного назначения [2]. При составлении расчетной схемы легкой фермы узлы сопряжения элементов между собой обычно определяют как шарнирные, причем такое допущение не всегда соответствует действительным условиям работы конструкции [3]. Современные программные комплексы для расчета строительных конструкций позволяют анализировать достаточно подробные расчетные модели. В нашей работе мы рассмотрим ферму серии 1.460.2-10/88 – Стальные конструкции покрытий одноэтажных про-

изводственных зданий с фермами из парных уголков. Эта ферма (рис. 1) высотой 3150 мм и пролетом 18 м часто применяется в сооружениях гражданского и промышленного назначения, а также в зданиях, где по условиям технологии производства требуется повышенная высота межферменного пространства. В данной ферме со стержнями из спаренных уголков, составленных тавром,

узлы (рис. 2) проектируются на фасонках, которые заводят между уголками. Стержни решетки прикрепляют к фасонке обваркой уголков по контуру или сплошными фланговыми швами [6]. В рамках нашей работы рассматриваются четыре расчетные модели. Первые три схемы выполнены с использованием стержневых КЭ. В стержневой модели профили моделируются одномерными элементами с заданными характери-

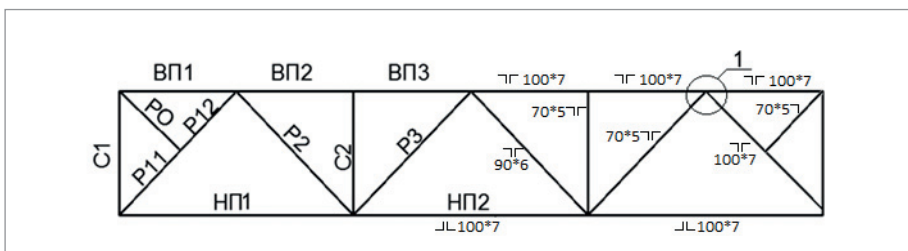


Рис. 1. Схема фермы

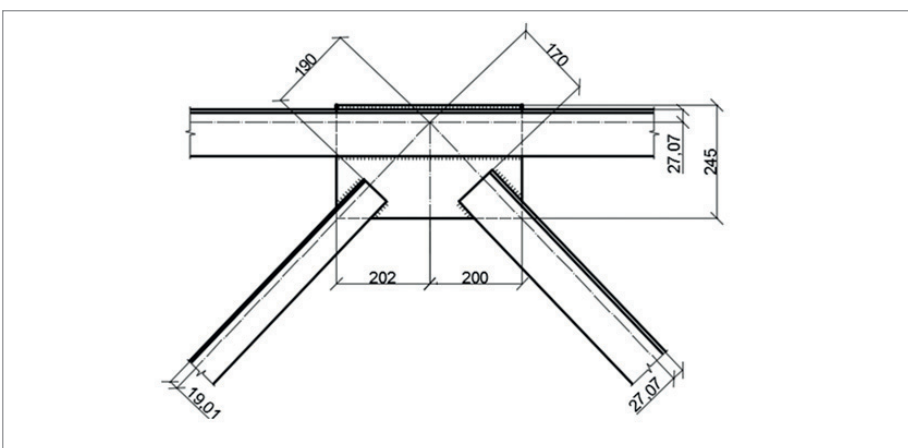


Рис. 2. Узел 1

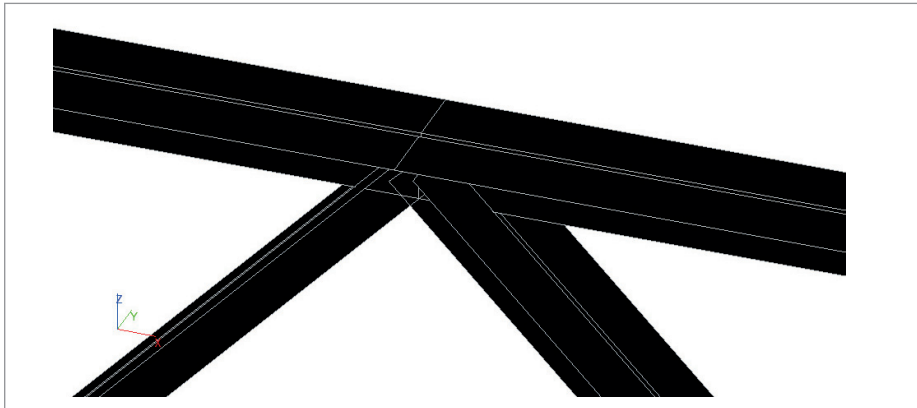


Рис. 3. Узел 1 стержневых моделей

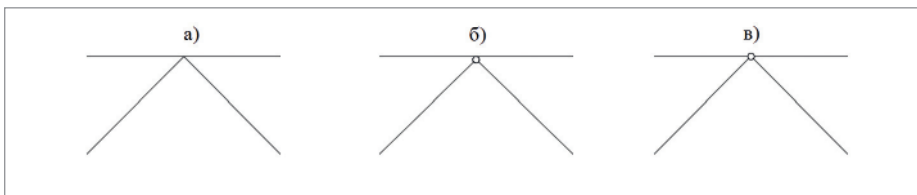


Рис. 4. Сопряжение элементов в узле 1 стержневой модели

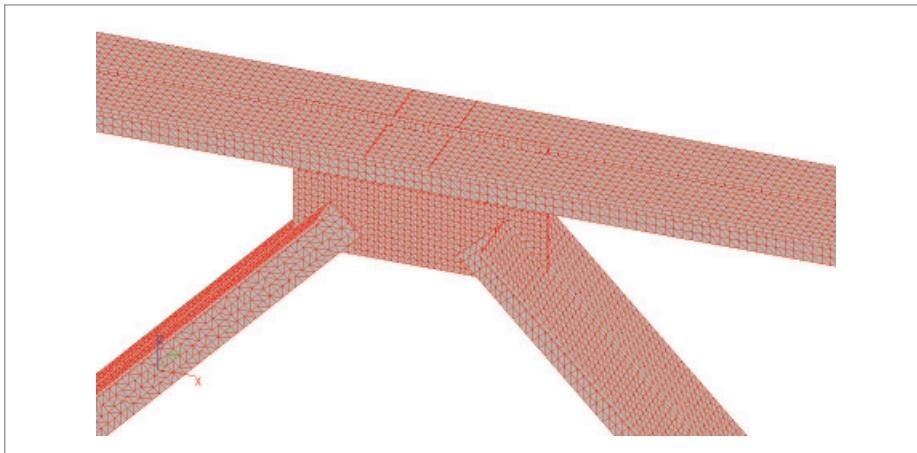


Рис. 5. Узел 1 модели из оболочек

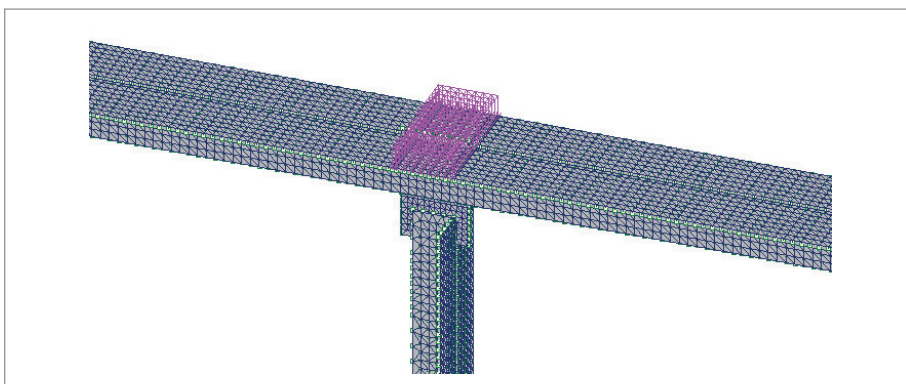


Рис. 6. Нагрузка на узел модели из оболочек

ками сечений. При стержневом моделировании невозможно реализовать детальную проработку конструкции узлов (рис. 3).

При создании стержневой модели рассмотрены различные сопряжения узлов:

- ферма с жесткими узлами (рис. 4а);
- ферма с неразрезными поясами (рис. 4б);
- ферма с шарнирными узлами (рис. 4в).

Благодаря простоте построения это наиболее распространенный метод создания моделей строительных конструкций. Кроме того, для определения характеристик и сечений несущих элементов на этапе проектирования достаточно результатов расчета стержневой модели. Четвертая модель была сформирована с использованием оболочечных элементов (SHELL-элементов). При этом достаточно подробно моделировались пространственная геометрия профилей и конструктивные особенности узлов соединения (рис. 5) с учетом толщин всех элементов конструкции. Сварное соединение смоделировано путем объединения перемещений узлов в местах фактического положения сварного шва. Цель работы – сравнить результаты, полученные с применением различных расчетных моделей фермы, и предложить практические рекомендации по использованию различных расчетных схем.

Расчеты выполнены в 21-й версии ПК SCAD Office. Были приложены следующие загрузки: собственный вес и расчетная нагрузка, взятая из серии, на которую рассчитана ферма (30 кН/м). В стержневой модели нагрузка была приложена в узлы сопряжения верхнего пояса с решеткой фермы, а в модели из оболочек – равномерно распределенная нагрузка на площадь предполагаемого опирания от вышележащих конструкций (рис. 6).

Расчеты показали, что характер вертикальных деформаций различных моделей совпадает (рис. 5-8). Максимальная разница в прогибах составляет 10% (табл. 1). На рис. 9 и 10 показаны характерные сечения элементов фермы

Таблица 1. Максимальный прогиб в ферме, мм

Модель фермы	Ферма из стержневых элементов			Ферма из оболочек
	Ферма с жесткими узлами	Ферма с неразрезными поясами	Ферма с шарнирными узлами	
Максимальный прогиб	23	23,65	23,02	25,71

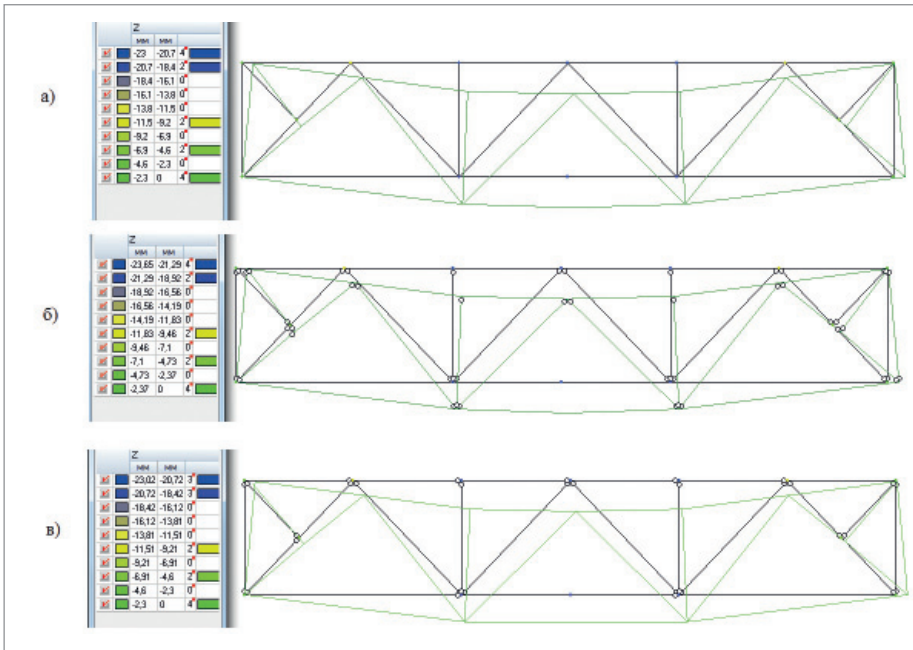


Рис. 7. Деформации стержневой модели:
 а) ферма с жесткими узлами, б) ферма с неразрезными поясами, в) ферма с шарнирными узлами

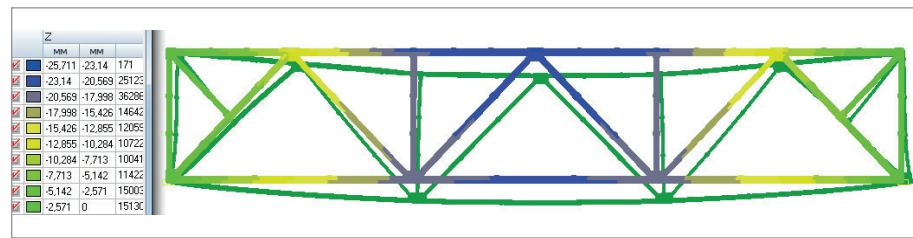


Рис. 8. Деформация модели из оболочек

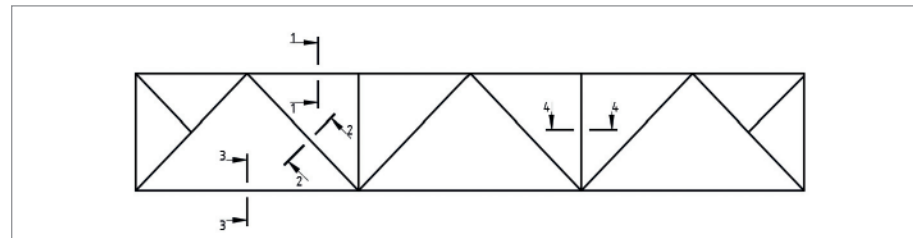


Рис. 9. Расположение сечений для визуализации напряжений

и распределение напряжений в этих сечениях.

Анализируя напряжения, приведенные в табл. 2, приходим к выводу, что разница между результатами, полученными по различным моделям, достигает 17%. При этом более высокие значения напряжений получены в стержневых моделях. Такое перераспределение напряжений может быть вызвано тем, что при использовании оболочечной расчетной модели учитывается фактическая жесткость узлов сопряжения элементов в зонах фасонки. Также преимуществом КЭ-модели из оболочек перед стержневой является возможность проанализировать напряженно-деформированное состояние в узлах сопряжения элементов между собой и сухариках.

При рассмотрении напряжений в фасонках были обнаружены концентраторы напряжений (рис. 11), значения в которых превышали предел текучести стали, — при расчете стержневой модели найти их невозможно.

Использование детальных расчетных конечно-элементных моделей позволяет подробно изучить характер напряженно-деформированного состояния несущих конструкций, обнаружить резервы несущей способности, учесть локальные несовершенства, выявить зоны потенциального развития пластических деформаций (даже в рамках линейного упругого расчета). В то же время анализ стальной стропильной фермы покрытия показал, что на стадии проектирования типовых конструкций достаточно надежные результаты получают и при использовании стержневых расчетных моделей. Применение детальных расчетных схем (оболочечных или объемных) видится целесообразным при решении задач поиска резервов несущей

Таблица 2. Экстремальные напряжения в элементах фермы, МПа

Элементы фермы		ВП2	ВП3	НП1	НП2	С2	Р11	Р12	Р2	Р3	Р0
Ферма из стержневых элементов	Ферма с жесткими узлами	-121,68	-121,72	77,04	-137,43	-65,32	-112,8	-114,7	136,81	-27,74	1,29
	Ферма с неразрезными поясами	-121,76	-121,26	76,34	-137,05	-65,11	-112,99	-112,99	135,47	-29,49	-
	Ферма с шарнирными узлами	-124,68	-124,68	77,92	-140,26	-65,6	-112,99	-112,99	135,88	-29,29	-
Ферма из пластинчатых элементов		-114,75	-114,24	70,75	-130,3	-56,94	-95,93	-102,32	125,15	-29,97	17,76

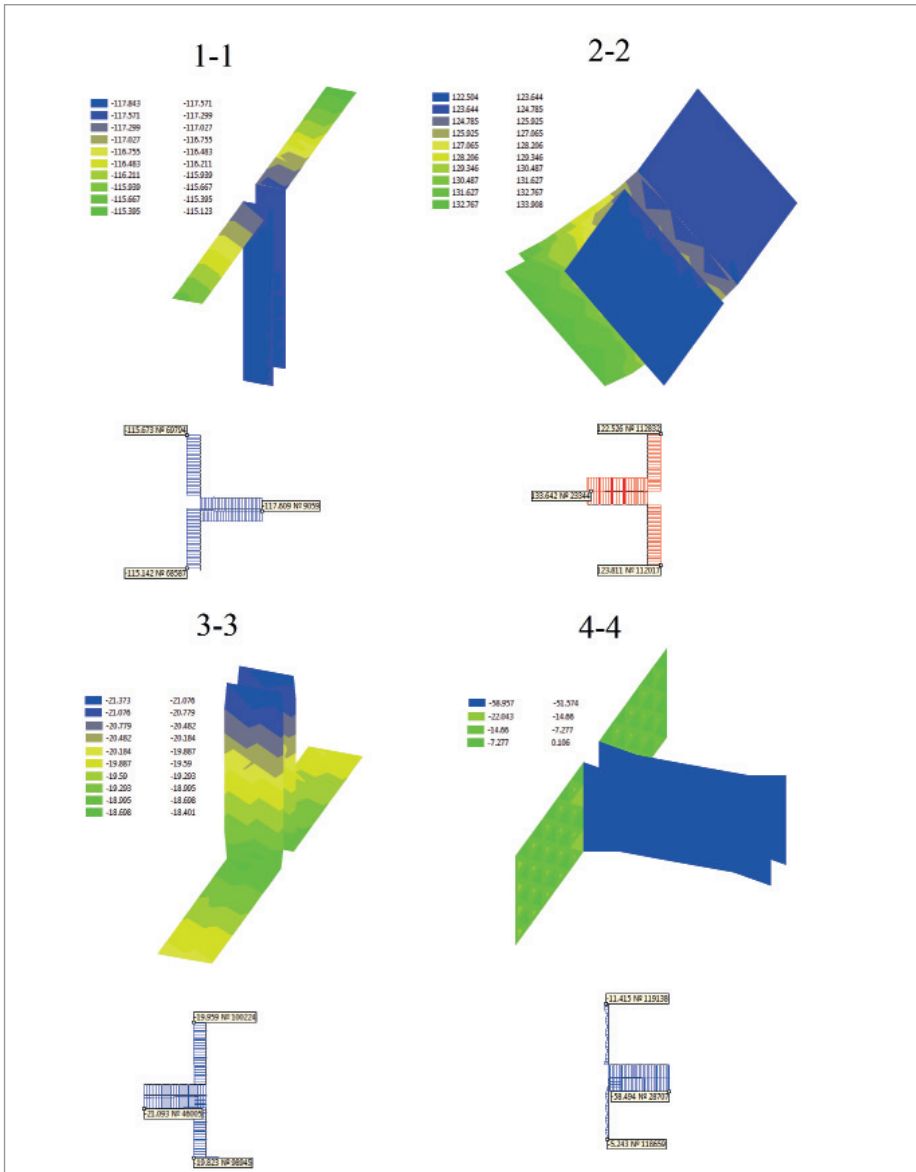


Рис. 10. Изополя напряжений в элементах фермы

способности уже построенных конструкций, а также при разработке проектов усиления.

Литература

1. Маляренко А.А., Семенов А.А., Сафиуллин М.Н., Порываев И.А. Анализ напряженно-деформированного состояния моделей узлов металлических конструкций в среде SCAD // Строительная механика и расчет сооружений, 2013, №3, с. 47-56.
2. Кудишин Ю.И., Беленя Е.И., Игнатъева В.С. и др. Металлические конструкции / Под ред. Ю.И. Кудишина, 13-е изд., испр. – М.: Академия, 2011. – 688 с.
3. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – Киев, Сталь, 2002, 600 с.
4. Семенов А.А. Металлические конструкции. Расчет элементов и соединений с использованием программного комплекса SCAD // Москва, 2012.
5. Серия 1.460.2-10/88. Стальные конструкции покрытий одноэтажных производственных зданий с фермами из парных уголков. Выпуск 1 // ЦИТП Госстроя СССР, 1988.
6. ГОСТ 23119-78 Фермы стропильные стальные сварные с элементами из парных уголков для производственных зданий.

*Марат Шафиков,
Дамир Валитов,
Илья Порываев
Уфимский государственный
нефтяной технический университет*

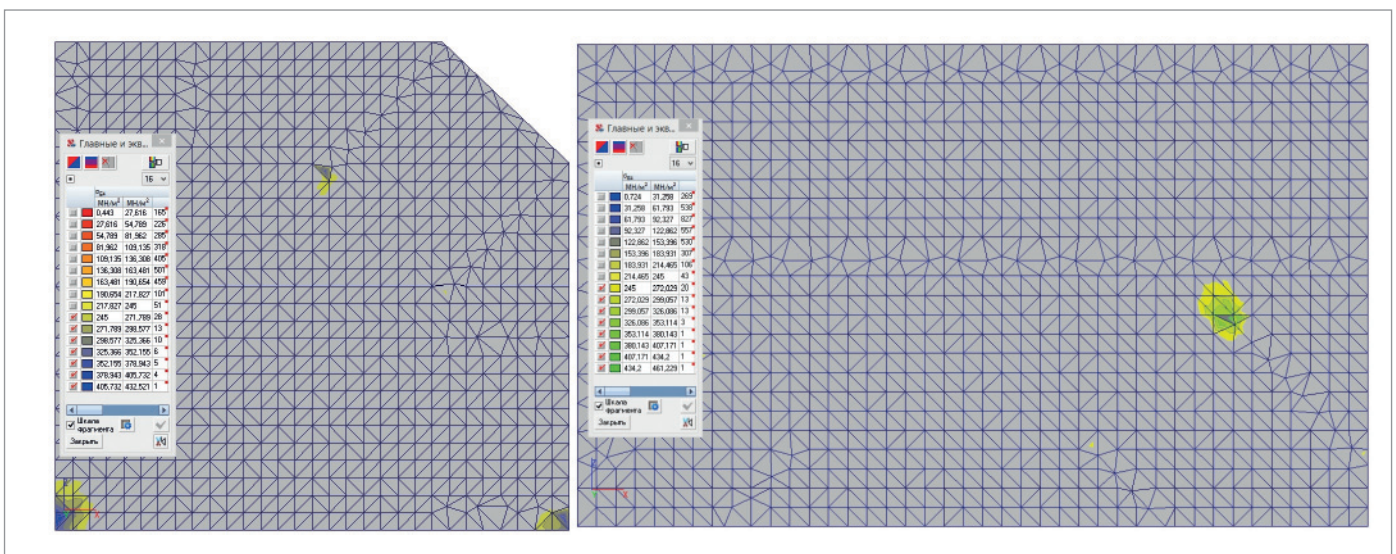


Рис. 11. Примеры локальных повышений напряжений (показаны зоны с напряжениями выше предела текучести стали)