[1]Д.В.Зимин, [2]В.П. Муленков, [1]Ю.В. Соколкин, [1]В.Я. Модорский

[1]Пермский государственный технический университет
[2]ГП «Возрождение», г.Пермь

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ НАГРУЗОК НА КРЫШУ ВАГОНА-ХОППЕРА

В данной работе произведены численные эксперименты для крыши вагона из композиционного материала. Исследования проводились для одной секции, а также для конструкции крыши в целом с использованием кластерных технологий расчета. Задача заключалась в определении полей напряжений и перемещений при различных схемах нагружения. Расчеты произведены в конечно-элементном инженерном многопроцессорном пакете ABAQUS.

Средний срок службы вагона-хоппера составляет 25 лет. При перевозке минеральных удобрений стальная крыша вагона требует замены уже через 5 лет. Установка крыши из композиционного материала позволит добиться того, что конструкция будет работать на протяжении всего срока эксплуатации вагона. Вместе с тем будет обеспечена коммерческая загрузка вагона при его возврате.

Задача решалась в упругой постановке. Конструкция рассматривалась как многослойная оболочка. Материал задавался трехслойным (два слоя стеклопластика, между ними – слой пенопласта). Выбор свойств материала основывался на экспериментальных данных, при этом был введен критерий оценки работоспособности конструкции по максимальным деформациям для пакета. Предполагалось, что разрушение слоя пенопласта приведет к разрушению всего пакета, при этом стеклопластик может не разрушиться. Локальное разрушение пенопласта считалось недопустимым.

Несколько расчетных схем, имитирующих различные эксплуатационные нагрузки на конструкцию, представлены ниже:

Номер схемы нагружения	Характеристики схем нагружения
1	Статическое давление распора насыпного груза Продольное ускорение действующее на крышу 12g Вес конструкции крыши
2	Динамическое давление распора насыпного груза Продольное ускорение, действующее на крышу 1g Вес конструкции крыши с учетом вертикальной динамики
3	Максимальное распределенние по площади крыши давление Вес конструкции крыши Статическое давление распора насыпного груза
4	Вертикальное ускорение 1g, действующее на крышу в вертикальном направлении с частотой A = 3,2Гц
5	Воздействие груза на торцевую стенку крыши при резком торможении с ускорением 3g. Масса воздействующего груза 0,35 от массы груза

Для каждой из вышеперечисленных схем производились расчеты как для одной секции конструкции, так и для целой конструкции. Наибольшую опасность представлял случай, соответствующий схеме 5 (рис. 1). Для этого случая были выполнены расчеты для различного конструктивного исполнения торцевой части крыши и с различными свойствами и толщинами материала.

Вначале были произведены расчеты для одного сегмента крыши. Поскольку результаты по всем схемам были удовлетворительные, расчеты были продолжены для всей конструкции крыши.

Расчеты всей крыши изначально проводились на рабочей станции, но в связи с мелким размером ячеек расчетной сетки и большим количеством элементов расчеты проводились медленно и периодически зависали из-за недостатка оперативной памяти. В связи с этим было решено использовать кластер для проведения расчетов всей крыши.

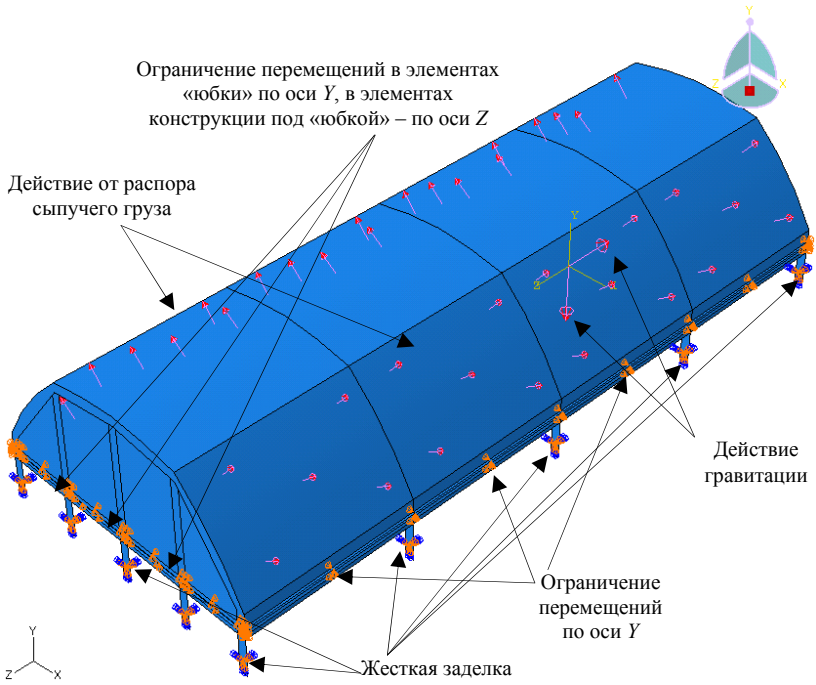

Рис. 1. Модель крыши из четырех секций с граничными условиями (схема 1)

При расчетах на кластере использовался один узел для решения одной задачи (схемы нагружения). Такой подход обеспечил наиболее рациональное использование ресурсов. Как видно из рис. 2, при использовании от 1 до 4 ядер для расчета наблюдается ускорение в 3,3 раза, а при использовании от 5 до 8 ядер ускорение незначительно. Исходя из того, что необходимые ресурсы оперативной памяти значительны, наиболее оптимально использовать один узел под расчет.

Особое внимание стоило уделить расчетной схеме 5. Особенность данного расчета заключалась в том, что из-за воздействия большой нагрузки на торцевую часть возможно ее разрушение. Для исключения разрушения был введен каркас жесткости. Каркас представляет собой арку, идущую по периметру

торцевой части, и три дополнительных ребра, идущих вдоль нее (рис. 3).

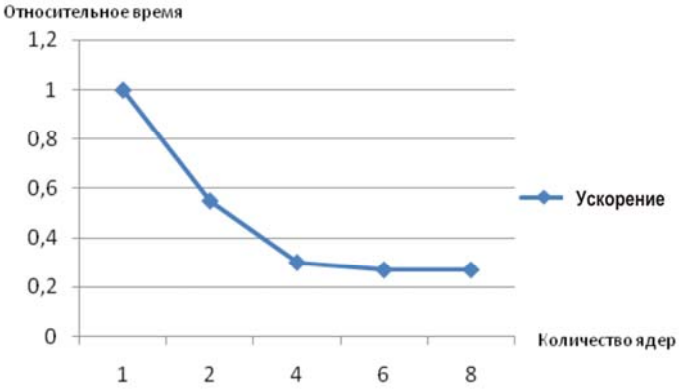

Рис. 2. Зависимость скорости проведения расчетов от количества используемых ядер (ускорение)

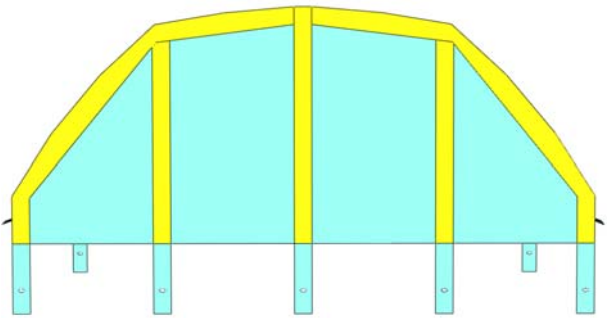

Рис. 3. Конструктивная схема каркаса жесткости с пятью ножками на торцевой панели секции крыши

Данный каркас располагается по периметру всей конструкции. На стыках секции количество продольных ребер сокращено до одного, идущего по центру крыши. Ребра жесткости являются квадратными в поперечном сечении. Принималось, что они изготовлены из стеклопластика, имеющего такие же свойства, как и материал крыши. По периметру боковых граней

крыши есть отвод, так называемая юбка, она используется для установки крыши на вагон, для расчетов это было интерпретировано как ограничение перемещений по оси *Y* для боковых граней и по осям *Y*, *Z* на торцевых гранях. Ограничение перемещений по торцевым граням позволило получить увеличение жесткости на торцевых панелях. Так же на торцевых панелях толщина материала увеличена по сравнению с остальной частью крыши. Все эти модификации привели к тому, что максимальные напряжения при расчете схемы 5 составили 70,95 МПа (рис. 4) и деформации 6,31 (рис. 5).

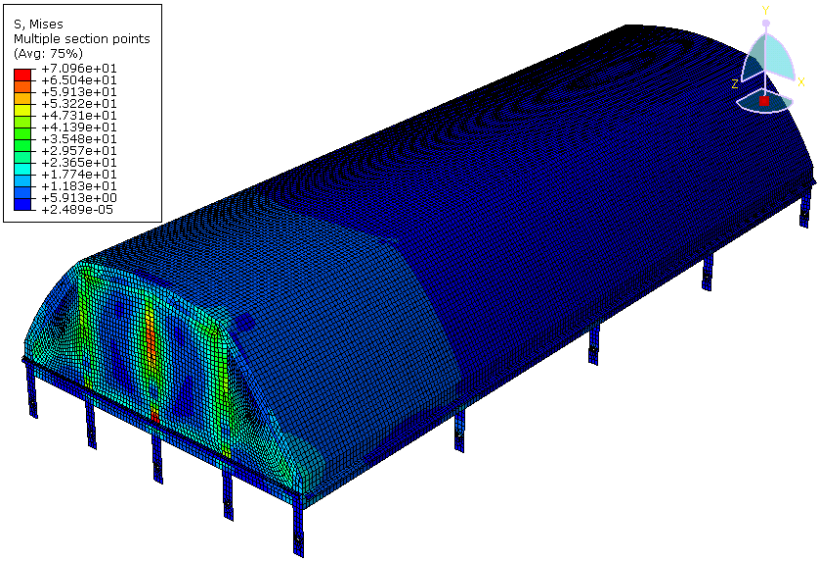

Рис. 4. Распределение полей напряжений (схема 5)

Коэффициент запаса для выбранного критерия оценки составил 2,74.

Для верхней части крыши наиболее важным был расчет по схеме 3. Максимальные напряжения для данного случая 3,054 МПа, а деформации 4,32 при действии распределенной нагрузки в 120кг/м^2. Коэффициент запаса для выбранного критерия оценки составил 63,85.

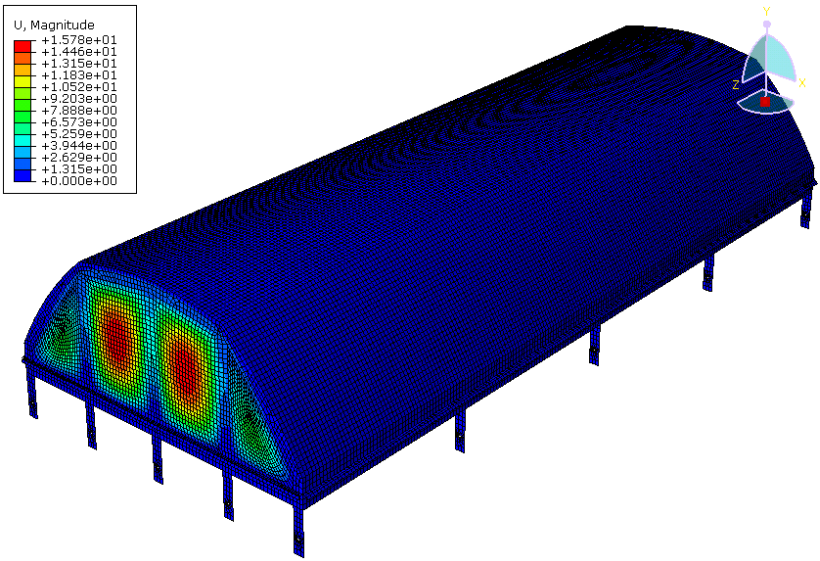

Рис. 5. Распределение полей перемещений (схема 5)

В результате использования кластерных технологий были произведены численные эксперименты конструкции крыши в целой без использования симметрии. Также использование кластерных систем позволило повысить скорость проведения численных экспериментов и их эффективность, предоставив возможность строить более мелкую сетку и увеличить количество точек интегрирования в каждом элементе.