

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПОДМОДЕЛЕЙ И ПОДКОНСТРУКЦИЙ К  
ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ***Путьято А.В., БГУТ, г. Гомель*

Для оценки напряженно-деформированного состояния элементов конструкции железнодорожной цистерны, была получена конечноэлементная модель нефтеналивной железнодорожной цистерны, реализованная в программном комплексе ANSYS. В работе [1] приведены некоторые результаты оценки напряженно-деформированного состояния элементов конструкции железнодорожной цистерны модели 15-1443. В ряде случаев возникает необходимость определения напряжений в узлах с учетом подробностей при геометрическом моделировании и для более детального анализа и варьирования нагрузками вышеназванных областей комплексная модель громоздка и недостаточно универсальна. Добиться быстрого анализа элементов конструкции при различных изменениях нагрузок и конструктивных параметров можно путем применения методов подмоделей и подконструкций.

Метод подмоделей основан на принципе Сен-Венана. Это подразумевает, что эффекты концентрации напряжений ограничены вокруг концентратора, поэтому, если границы подмодели достаточно далеки от концентратора напряжений, в подмодели могут быть рассчитаны достаточно точные значения напряжений.

Метод подмоделей удобно использовать, к примеру, если после проведения анализа для полной модели оказалось, что для некоторых областей результаты недостаточно подробны. При этом при первоначальном анализе достаточно создать конечно-элементную модель с такой сеткой, которая вполне достаточна для адекватного описания особенностей нагружения и выделения зон высоких напряжений, но является недостаточно мелкой для получения точных результатов для таких зон. Выявив интересующую область необходимо создать новую модель (подмодель), геометрию которой можно выполнить более детально и, следовательно, сетку конечных элементов подмодели можно сделать значительно мельче для получения более точных результатов. При этом важным шагом является задание граничных условий для подмодели на основе от-

клика основной конструкции. И, наконец, производится анализ подмодели, который уже не зависит от исходной конструкции, что исключает необходимость повторять анализ всей модели.

В процессе анализа напряженно-деформированного состояния элементов конструкции при движении цистерны по кривой [2] возникла необходимость подробного моделирования среднего крепления котла к раме цистерны, для анализа вопроса появления трещин в рассматриваемой зоне при эксплуатации (рисунок 1).

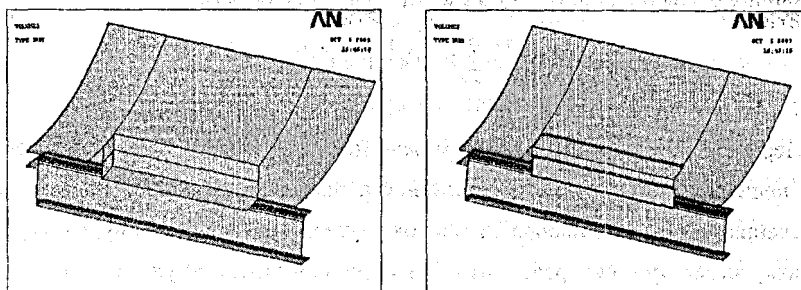


Рисунок 1 – Представление подмоделью узла крепления котла к раме для уточненной оценки напряженно-деформированного состояния.

Таким образом, метод подмоделей дает возможность исследования влияния внесения в конструкцию локальных изменений геометрии без повторного анализа конструкции целиком.

Метод подконструкций (метод суперэлементов) представляет собой выделение из модели конструкции более простых ее составных частей – подконструкций [3]. Математическая идея метода суперэлементов состоит в том, что заданная система, описываемая соответствующими уравнениями состояния, расчленяется поэтапно на части до тех пор, пока не образуется множество элементов с известными деформативными свойствами. После этого составляются уравнения состояния каждого суперэлемента и обратным путем с использованием матрицы соединения, формируется уравнение состояния системы в целом.

Каноническая форма статических уравнений метода конечных элементов имеет вид

$$[K] \cdot [u] = [P] \quad (1)$$

где  $[K]$  – матрица жесткости всей системы,  $[u]$  – матрица узловых перемещений;  $[P]$  – матрица заданных нагрузок.

Уравнение может быть записано в следующем виде

$$\begin{bmatrix} [K_{ii}] & [K_{ij}] \\ [K_{ji}] & [K_{jj}] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [u_i] \\ [u_j] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [P_i] \\ [P_j] \end{bmatrix} \quad (2)$$

Здесь группа  $i$  – соответствует группе наложенных степеней свободы на узлы конечных элементов;  $j$  – группа удаленных степеней свободы. В результате ряда преобразований получается, что между перемещениями граничных и внутренних узлов подконструкции имеется следующая связь

$$[u_j] = [K_{jj}]^{-1} \cdot \sum_{k=1}^n b_k \cdot [P_{jk}] - [K_{ji}]^{-1} \cdot [K_{ji}] \cdot [u_i] \quad (3)$$

где  $b_k$  – нагрузочный коэффициент.

Перемещение удаленных узлов можно использовать для уменьшения времени решения и повышение эффективности процесса моделирования за счет приведения группы или набора элементов к одному эквивалентному, самостоятельному элементу – суперэлементу. Метод подконструкций удобен также при исследовании различных степеней нагруженности рассматриваемой конструкции, что достигается путем изменения значения нагрузочного коэффициента  $b_k$ .

Применение методов подмоделей и подконструкций позволяет производить уточненную оценку напряженно-деформированного состояния элементов конструкции цистерны с использованием разработанной модели практически на любой ЭВМ с ограниченной возможностью.

**Литература.** 1. Путьто А. В. Конечноеэлементное моделирование железнодорожной цистерны с использованием программного комплекса ANSYS//Сборник материалов III международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и магистрантов. 24 – 25 апреля 2003 года. – Гомель: Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2003. – с. 25 – 28. 2. Сенько В. И., Шимановский А. О., Путьто А. В. Расчетная схема приложения силовых факторов к конструкции цистерны при ее движении в кривой//Труды научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2003. – с. IV-79 – IV-80. 3. Строительная механика корабля и теория упругости: Учебник для вузов: В 2 т. – Л.: Судостроение, 1987. Т. 1: Постнов В. А., Суслев В. П. Теория упругости и численные методы решения задач строительной механики корабля. 228 с.