ния при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом, разрабатываемую ВНИИЖТом совместно с другими научными центрами [2]. Данная ГИС включает три уровня пользователя: станционно-отделенческий, дорожный, МПС. Она выполняет функции: представляет место ТЧС на картографических схемах станций и перегонов с выводом информации на печать; моделирует распространение в атмосфере облака токсичного вещества и на поверхности земли – разлитие опасного груза, пространственное распределение его концентрации с учётом рельефа местности, скорости ветра, атмосферного давления, температуры воздуха и других параметров; вырабатывает различные сценарии развития ТЧС с выдачей списков объектов, попадающих в опасные зоны и подлежащих эвакуации; оповещает в автоматическом режиме объекты, находящиеся в зоне поражения, аварийно-спасательные подразделения и другие компетентные органы о ТЧС; предлагает оптимальные маршруты поиска пострадавших и безопасные пути эвакуации.

Программный модуль ГИС позволяет решать следующие задачи: картирование железнодорожной сети и прилегающих территорий на основе имеющихся топографических материалов; управление уровнями риска в системах с распределёнными параметрами; указание места появления нарушения безопасности движения поездов и вызванной им ТЧС; создание модели ТЧС; оценка и прогнозирование состояния внешней среды при перевозке грузов различных классов опасности; оптимизация размещения мест отстоя, погрузки, выгрузки, сортировочных путей; наложение карт и пространственный анализ методами диалогового отображения и др.

Модуль данной ГИС строится на основе пакета программных средств ARS/INFO для рабочих станций (серверов). Геоинформация обрабатывается системой ESRI. Для обработки информации и построения ГИС используется векторно-топологическая структура баз данных и знаний.

Особую актуальность приобретает перспектива применения ГИС для условий перевозки пассажиров и грузов, в том числе опасных, автомобильным транспортом. Один из примеров – это экологическая ГИС Московской кольцевой дороги с информационной полосой шириной в километр по обе стороны от неё [3].

Зарубежные разработки показывают, что создание современной ГИС требует значительных финансовых и интеллектуальных ресурсов. И тем не менее геоинформационные технологии находят всё более широкое применение в системах поддержки управленческих решений при ТЧС на транспорте и других объектах, реализующих ответственные технологические процессы.

Литература

1. Безопасность России. Словарь терминов и определений – М. :МГФ «Знание», 1999. –386с.
2. Кармолин А.Л. и др. Экспертно-справочная система прогнозирования при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом //Транспорт: наука, техника, управление. – М.: ВИНИТИ РАН, 1997. – №5.
3. Лебедев В.В. Космическая география //Наука и жизнь. – 1998. – №8.

РАСЧЁТ МЕТОДОМ КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЕФОРМАЦИЙ ТВЁРДЫХ ТЕЛ С ОТВЕРСТИЯМИ

К. С. Курочка

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

По своим физико-механическим свойствам тело считаем линейно-упругим с модулем упругости E и коэффициентом Пуассона μ. В силу того, что твёрдое тело содержит отверстия (полости), в пространстве рассматриваемое тело будет характеризоваться своими внутренними и внешними границами. Следовательно, в формализованной постановке данную задачу можно рассматривать как пространственную краевую задачу линейной теории упругости, определённую в n-связанной области.

При расчёте деформаций твёрдых тел с отверстиями (полостями) без учёта их конструктивных особенностей приходим к матрице жёсткости большой размерности. Уменьшить размерность матрицы жёсткости можно, если исключить из рассмотрения узлы, принадлежащие отверстиям (полостям) – нематериальной составляющей заданной области. Для решения таких задач методом конечного элемента предлагается подход, основанный на методе декомпозиции, применяемой на стадии формирования виртуальной физической модели: n-связанная область разбивается на k ограниченных выпуклых замкнутых подобластей Ω_i с границей Γ_i, $i=\overline{1,k}$. Для каждой такой подобласти непрерывная математическая модель в соответствии с принципом возможных перемещений будет иметь вид: $\{\delta g\}^T\{R\}=\int\limits_V\{\delta\varepsilon\}^T\{\sigma\}dV$, где $\{g\}$ – вектор перемещений, $\{R\}$ – вектор внешних сил, $\{\varepsilon\}$ – вектор деформаций, $\{\sigma\}$ – вектор напряжений; граничные условия соответствуют третьей краевой задаче. Характерной особенностью данного подхода является возможность решения задач любых размерностей, так как не требуется дополнительных затрат памяти ЭВМ, матрица жёсткости формируется за один проход.

Всякая подобласть $\Omega_i \cup \Gamma_i$ подлежит дискретизации конечными элементами. В общем случае разбиение на конечные элементы подобластей произвольное, при этом дискретизованная граница между соседними подобластями является строго общей. Вид и размеры конечного элемента для каждой подобласти определяются условиями задачи и требуемой точностью решения. На практике, как правило, принимают конечный элемент одного типа, размеры которого могут быть разными. В настоящей работе дискретизация проводилась: подобласти – параллелограммы – конечные элементы в форме тетраидров, размеры которых могут быть различными.

Дискретная математическая модель для каждой подобласти имеет вид: $\{R\}^i=[K]^i\{g\}^i$, где $[K]^i$ – матрица жёсткости подобласти $\Omega_i \cup \Gamma_i$. Для всей n–связанной области математическая модель примет вид: $\{R\}=\sum\limits_{i=1}^{k}[K]^i\{g\}$ или $\{R\}=[K]\{g\}$, где $\{R\}$– вектор внешних узловых сил, $[K]$ – матрица жёсткости, $\{g\}$ – вектор узловых перемещений, $[K]=\sum\limits_{i=1}^{k}[K]^i$, причём суммирование происходит на уровне суммирования элементов матриц жёсткости подобластей. Суммируются только те элементы, глобальные индексы которых совпадают. Указанные выше граничные условия представляются в дискретной форме. Матрица жёсткости для любой подобласти будет представлена совокупностью матриц жёсткости для её конечных элементов: $[K]^i=\sum\limits_{l=1}^{N^i_{КЭ}}[K]^e_l$, где $N^i_{КЭ}$ – количество конечных элементов, на которые разбивается подобласть $\Omega_i \cup \Gamma_i$, $[K]^e_l$ – матрица жёсткости единичного конечного элемента. Суммирование происходит на уровне суммирования элементов единичных матриц жёсткости конечных элементов, т.о. для глобальной матрицы жёсткости имеем:

$$[K] = \sum_{i=1}^{k} \sum_{l=1}^{N_{\text{КЭ}}^{i}} [K]_l^e . \tag{1}$$

Для каждой подобласти $\Omega_i \bigcup \Gamma_i$ введём функцию:

$$f_i(x,y,z) = \begin{cases} 1, \text{ если } (x,y,z) \in \Gamma_i \\ 0, \text{ если } (x,y,z) \notin \Gamma_i \end{cases}.$$

Пусть Γ^* – это множество всех общих рассмотренных участков границ между подобластями Ω_i, т.е., после просмотра всех подобластей, Γ^* будет иметь вид:

$$\Gamma^* = \Gamma_1 \bigcap \Gamma_2 \bigcup \Gamma_1 \bigcap \Gamma_3 \bigcup \ldots \bigcup \Gamma_1 \bigcap \Gamma_k \bigcup \Gamma_2 \bigcap \Gamma_3 \bigcup \ldots \bigcup \Gamma_{k-1} \bigcap \Gamma_k .$$

Определим на множестве Γ^* функцию:

$$f_{\Gamma^*}(x,y,z) = \begin{cases} N_{\Gamma^*}, \text{ если } (x,y,z) \in \Gamma^* \\ 0, \text{ если } (x,y,z) \notin \Gamma^* \end{cases},$$

где N_{Γ^*} – глобальный индекс узла (x,y,z).

Будем последовательно дискретизировать подобласти $\Omega_i \bigcup \Gamma_i$ конечными элементами. Положим $N_{\text{узл.}} = 0$, а $\Gamma^* = \varnothing$, где $N_{\text{узл.}}$ – глобальный счётчик узлов. Для каждого узла $M_j = (x_j, y_j, z_j)$ конечного элемента A_l подобласти $\Omega_i \bigcup \Gamma_i$, где $l = \overline{1, N_{\text{КЭ}}^i}$, $j = \overline{1, n_i}$, n_i – количество узлов в подобласти $\Omega_i \bigcup \Gamma_i$ (здесь стоит отметить, что априорная информация о количестве узлов в подобласти не нужна, т.к. разбиение на конечные элементы и построение матрицы жёсткости можно совместить), выполняем следующие действия:

если $f_i(x_j, y_j, z_j) = 0$, то $N_{\text{узл.}} = N_{\text{узл.}} + 1$, а глобальный индекс узла M_j будет равен $N_{\text{узл.}}$;

если $f_i(x_j, y_j, z_j) = 1$ и $f_{\Gamma^*}(x_j, y_j, z_j) = 0$, тогда $N_{\text{узл.}} = N_{\text{узл.}} + 1$ и доопределим функцию f_{Γ^*} так, чтобы $f_{\Gamma^*}(x_j, y_j, z_j) = N_{\text{узл.}}$. Глобальный индекс узла M_j будет равен $N_{\text{узл.}}$;

если $f_i(x_j, y_j, z_j) = 1$ и $f_{\Gamma^*}(x_j, y_j, z_j) <> 0$, то глобальный индекс узла M_j будет равен $f_{\Gamma^*}(x_j, y_j, z_j)$;

После нахождения глобальных индексов для всех узлов конечного элемента A_l, находим матрицу жёсткости для этого конечного элемента $[K]_l^e$ и выполняем суммирование в (1).

После дискретизации конечными элементами всех подобластей $\Omega_i \bigcup \Gamma_i$, будет сформирована глобальная матрица жёсткости $[K]$ для *n*-связанной области.