

N2, 2000

Программная система для создания моделей и решения задач строительства и реконструкции с помощью МКЭ "FEM models"

В.М. Улицкий, А.Г.Шашкин, К.Г.Шашкин, В.Н.Парамонов

Современные строительные нормы открыли широкие возможности для совершенствования численных методов расчета. В частности, в петербургских геотехнических нормах (ТСН 50-302-96) целый раздел посвящен необходимости учета совместной работы несущих конструкций зданий и сооружений с их основаниями, что возможно исключительно посредством применения численных методов. К сожалению, следует признать, что эти нормативные требования остаются декларативными и игнорируются в сложившейся практике проектирования. Объяснением тому являются следующие причины. Наблюдается снижение общего уровня проектирования вследствие распада крупных проектных организаций и возникновения новых небольших фирм, во многих случаях не имеющих опытных расчетчиков и необходимых современных инструментов расчета.

- Программные продукты для проектирования, разработанные в НИИ и ВУЗах, равным образом как и западные аналоги (получившие распространение в нашей стране преимущественно в неофициальных копиях), в большинстве случаев пригодны для решения узкого круга практических задач и трудно поддаются модификации.
- Объективным препятствием на пути широкого распространения численных расчетов в проектной практике является отсутствие прозрачности исходных предпосылок, допущений и конкретной реализации расчетной модели в существующих программных продуктах. Фактически, доверие к расчетным программам как в нашей стране, так и за рубежом, держится, прежде всего, на авторитете разработчиков или разного рода рецензентов, в том числе и имеющих право на выдачу сертификатов. Это отнюдь не спасает от вероятности получения некорректных решений, поскольку программная реализация решения скрыта от расчетчика. Естественно, что в такой ситуации специалисты склонны прибегать к простым, легко поддающимся осмыслению и проверке расчетам и с недоверием относиться к современным, но недостаточно прозрачным программным продуктам.
- Программы, распространяемые как закрытые, недоступные для модификации системы, обладают существенной инертностью в плане использования новейших научных разработок.

Наконец, еще одним препятствием на пути развития численных методов расчета является трудоемкость программной реализации новых моделей. Научным работникам хорошо известно, сколько времени и сил тратится на попытки создания собственных расчетных программ, которые, естественно, во многих случаях далеки от совершенства, поскольку авторы не являются профессиональными программистами.

Изложенные выше проблемы могут быть успешно разрешены посредством создания программного инструмента, позволяющего унифицировать и стандартизировать процедуру создания конечно-элементных моделей. Таким инструментом является программа "FEM models".

Программа состоит из следующих компонентов.

Ядром программы является *"решатель"*, осуществляющий процедуру формирования разрешающей матрицы системы конечных элементов из матриц отдельных конечных элементов и после этого процедуру решения системы линейных алгебраических уравнений. Особенностью *"решателя"* является возможность решения физически и геометрически нелинейных задач методом последовательных приближений, в том числе с возможностью перестроения конечно-элементной сетки. При этом задачи могут рассматриваться в плоской, осесимметричной, пространственной постановке, с учетом изменения во времени. При разработке *"решателя"* был проведен детальный анализ различных алгоритмов решения задач линейной алгебры и выбраны наиболее эффективные методы, адекватные современному уровню развития вычислительной техники.

Вторым компонентом программы является оригинальный *графический редактор*, представляющий собой систему создания пространственных конечно-элементных схем, которые могут изменяться во времени. Таким образом, пользователю предоставляется возможность работать в виртуальном четырехмерном пространстве-времени. Графический редактор построен таким образом, чтобы максимально упростить процедуру создания конечно-элементных схем и свести ее к визуально контролируемому процессу черчения в трехмерном пространстве. Он позволяет также осуществлять анализ результатов вычислений в удобной и наглядной форме (в виде изолиний, эпюр, графиков, деформированных схем и т. п.). Редактор разработан с использованием современных достижений в области трехмерной графики, используемой в настоящее время преимущественно в компьютерных играх.

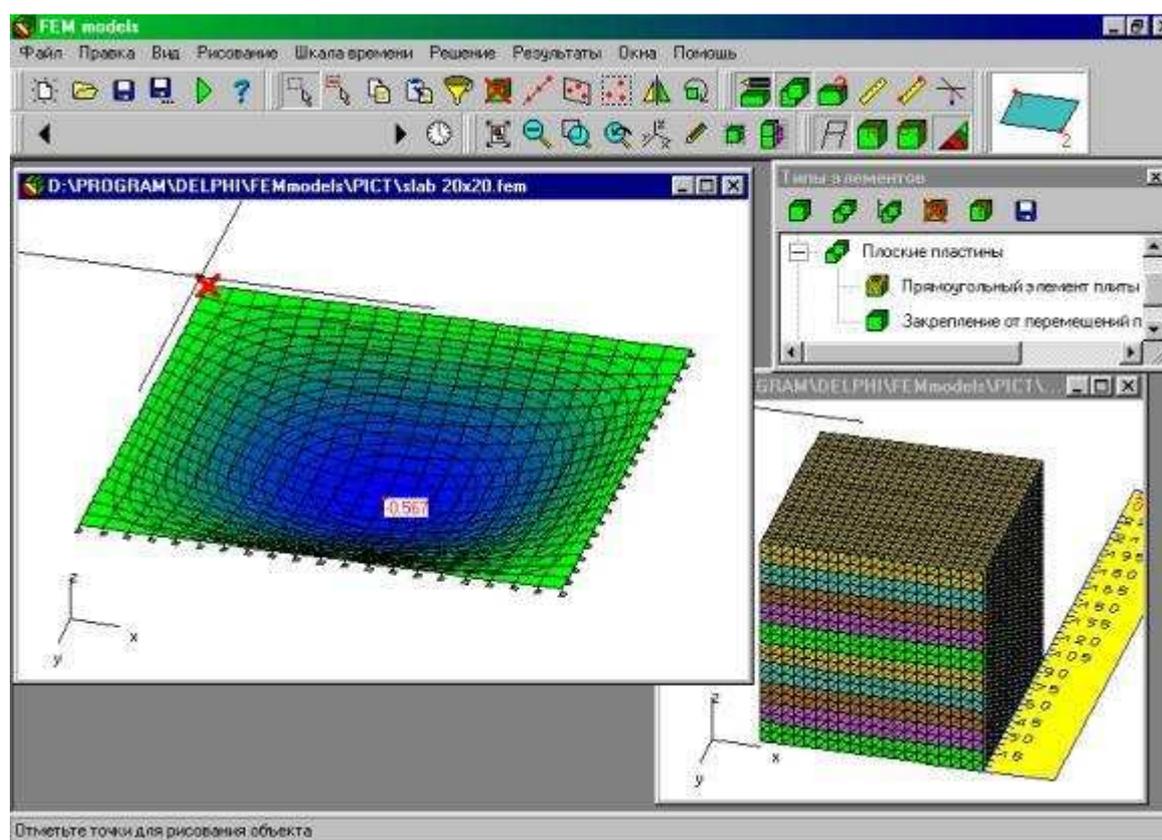


Рис. 1. Графический редактор программы "FEM models".

Третьим компонентом программы является *среда разработчика* конечно-элементных моделей, которая позволяет создавать, тестировать и анализировать расчетные модели. Среда разработчика дает возможность пользователю создавать конечно-элементные модели, при этом от него практически не требуется знаний в области программирования. Практически все описание модели осуществляется на математическом языке.

Наконец, четвертым компонентом программы является *банк моделей*, в котором хранятся конкретные конечно-элементные модели. При решении практических задач из этого банка выбирается адекватная модель.

Стержнем программы, соединяющим в единое целое перечисленные компоненты, является *структура универсального конечного элемента*, позволяющего описать практически любую модель МКЭ. Описанный в рамках данной структуры конечный элемент может иметь неограниченное число различных степеней свободы в каждом узле (перемещения, ускорения, напоры воды, температуры и т. д.). Предусмотрено введение новых неизвестных в узлах элемента по усмотрению автора модели. В узлах могут присутствовать также силы или иного рода воздействия. Каждый элемент описывается определенным набором параметров, задаваемых пользователем при расчете, число которых определяется автором модели.

Автор модели при работе в среде разработчика заполняет описанную структуру универсального конечного элемента конкретной информацией о создаваемой им модели. Тем самым автор наделяет элемент определенным перечнем "знаний и умений", таких как способность формировать матрицу жесткости элемента, определять удобный способ визуализации на экране, вычислять внутренние усилия по полученным в результате решения перемещениям узлов и т. п. Заполненная описанным способом структура универсального конечного элемента превращается в конкретный конечный элемент, отвечающий предложенной автором модели, после чего автоматически встраивается в банк моделей и тем самым становится составной частью программы.

Таким образом, с программой "FEM models" могут работать как ученые-разработчики моделей среды, так и пользователи-расчетчики, занимающиеся расчетами по готовым моделям.

В настоящее время в рамках программы разработан ряд моделей, описывающих работу основания и сооружения. Среди них

- линейно и нелинейно упругие модели (изотропные, ортотропные, анизотропные среды), модели объемно несжимаемых сред;
- упруго-пластические модели (идеальная упруго-пластичность, шатровые модели);
- реологические модели;
- геометрически нелинейные модели сплошных сред;
- напорная и безнапорная фильтрация;
- стационарная и нестационарная задача теплопроводности;
- задачи термо-вязко-упруго-пластичности;
- модели структурно неустойчивых сред;
- задачи динамики сплошных сред;

В программе "FEM models" реализован принципиально новый подход к созданию конечно-элементных моделей. Его отличительными чертами являются:

- прозрачность, то есть свобода доступа ко всем деталям реализации конкретной модели, а также математическая ясность самого описания модели для автора, пользователя и любого эксперта;
- открытость, то есть возможность пополнения программы новыми моделями;
- простота использования разработанных моделей для практических расчетов;
- отсутствие инерции в практическом использовании новейших научных разработок.

В следующем номере журнала предполагается привести примеры практического применения программы "FEM models" для расчетов объектов реконструкции и нового строительства. Нам представляется, что данная программа со временем станет основой для проектирования строящихся и реконструируемых объектов, позволяющей учесть совместную работу системы "сооружение-фундамент-основание".