

борный стол поступает в 3-4 раза меньше земли, чем при уборке картофеля с гребней.

Посадка картофеля в ленты, шириной 20-30 см, обеспечивает возможность локального внесения минеральных и органических удобрений, а также возможность борьбы с сорняками в рядках путем засыпания их проростков при формировании гряды.

Локализация внесения удобрений позволяет лучше сбалансировать питание растений, исключить крайне негативное влияние неравномерности распределения удобрений при разбросном внесении, уменьшает потребность в удобрениях в 1,5-2 раза, не способствует развитию сорняков в междурядьях.

### **Некоторые особенности структуры программных комплексов конечно-элементного анализа**

Кольцов А. Н., БГАТУ, г. Минск

Анализ конструкций с использованием метода конечных элементов является в настоящее время фактическим мировым стандартом для прочностных и других видов расчетов конструкций. Основой этого служит универсальность метода, позволяющая единым способом рассчитывать различные конструкции с разными свойствами материалов.

Можно выделить следующие принципы организации программ конечно-элементного анализа:

- сравнительно простые программы конечно-элементного анализа встраиваются в известные пакеты САПР ориентированные на построение чертежа и фотореалистичного изображения (AutoCAD, T-FLEX и др.);
- система состоит из нескольких связанных модулей, каждый модуль выполняет свою задачу (геометрическое моделирование, различные типы анализа методом конечных элементов, визуализация результатов расчета), можно связывать модули различных производителей;
- полностью интегрированная среда для моделирования и анализа результатов.

Современные системы моделирования методом конечных элементов позволяют создавать сложные модели конструкций. Сложность моделей возросла настолько, что они становятся необозримыми для конструктора. Работа с такими моделями невозможна без средств структурирования. К таким средствам относятся:

- группировка элементов;
- библиотеки стандартных элементов;

- иерархия модели с отображением в виде дерева.

В таких случаях задача может быть разбита на подзадачи и распределена между несколькими исполнителями, а затем быть собрана в одну модель.

Существует класс задач, для которых слишком трудно или вообще невозможно построить модель с помощью редактора. Например, построить модель порошкового материала с нерегулярной структурой и заданными законами распределения частиц.

Один из путей решения этой проблемы – это встроенный специализированный язык программирования. Такие языки позволяют автоматизировать и, следовательно, существенно ускорить построение сложных моделей.

Другой путь решения проблемы – это открытый формат файла исходных данных. В этом случае можно создать специализированное программное обеспечение, которое будет генерировать модель и формировать файл исходных данных для пакета конечно-элементного анализа.

Недостатком первого пути, является необходимость изучения нового языка программирования и отсутствие среды программирования с поддержкой отладки.

Недостатком второго пути, является то, что каждому пользователю придется заново создавать:

- структуры данных;
- целую библиотеку процедур для генерирования и описания параметров конечных элементов;
- изучать формат файла исходных данных.

Используемый авторами подход, позволяет избежать этих недостатков.

Разработанный авторами статьи программный пакет *Skat-N*, поставляется с модулями, которые содержат библиотеку классов поддерживающих все необходимые структуры данных и процедуры для работы с ними. Модули написаны на языке *Object Pascal*, что позволяет использовать их в интегрированной среде разработки *Delphi* (или *Kylix* для операционной системы *Linux*). *Delphi* – это современная мощная среда программирования обладающая следующими достоинствами:

- проста для изучения и удобна в работе;
- полностью поддерживает объектно-ориентированное программирование;
- позволяет создавать приложения *Windows* любого уровня сложности;
- имеет встроенные средства отладки;
- поддерживает большинство известных СУБД;
- поддерживает *COM* технологии, что позволяет формировать отчетность в формате документов *Microsoft Word*.

Таким образом, пользователь получает в свое распоряжение удобный инструмент, который позволяет строить конечно-элементные модели прак-

тически любой сложности, с возможностью автоматического генерирования отчетов. Эту библиотеку легко адаптировать для любого другого пакета конечно-элементного анализа, всего лишь добавив поддержку формата файла исходных данных.

## Математическая модель расхода воздуха через щели механических вакуумных насосов

Колончук М. В. БНТУ, г. Минск

Аналитическое определение допустимой величины зазоров между подвижными деталями является важным этапом проектирования вакуумных насосов. Зазоры между деталями в рабочем пространстве вакуумного насоса образуют щели малой высоты, характеризующиеся тремя параметрами: высотой, длиной по фронту и глубиной. Размеры щелей определяют величину коэффициента полезного действия насосов. Большая трудоемкость экспериментального определения расхода воздуха через щель допускает приближенную математическую оценку зазоров вакуумного насоса. Методологию расчета предлагается базировать на стационарности щелей различной формы, истечения воздуха через них без теплообмена с внешней средой, учете эффективного сечения щелей. Этим требованиям удовлетворяют уравнение изменения количества движения с учетом потерь трения и урав-

$$\text{нение неразрывности: } \begin{cases} cdc + dp/\rho + (\lambda c^2 / 2D_c)dx = 0 \\ G_n = gfp \end{cases}$$

где  $c$  - скорость воздуха в щели;  $\rho$  - плотность воздуха;  $x$  - линейный размер в направлении потока воздуха;  $D_c$  - гидравлический диаметр щели ( $D_c \approx 2\delta$ );  $f$  - сечение щели;  $\lambda$  - коэффициент трения воздушного потока (0,03);  $g$  - ускорение силы тяжести;  $p$  - давление.

Из системы уравнений можно получить весовой расход  $q$  (кг/с·м<sup>2</sup>) в виде  $q = \sqrt{(\lambda b / D_c + 2 \ln p_2 / p_1)^{-1}} \sqrt{g/RT_2} \sqrt{p_2^2 - p_1^2}$ . Коэффициент под знаком первого корня в формуле учитывает уменьшение расхода воздуха вследствие потерь при движении воздуха через щель. Эта величина зависит от формы щели и соотношений между ее геометрическими параметрами, коэффициента трения и местных потерь, степени сжатия. Введением опытного коэффициента  $K_{ci}$ , для согласования расхода воздуха, подсчитанного по формуле и полученного из опыта, формула видоизменяется

$$q = K_{ci} \sqrt{(\lambda b / D_c + 2 \ln p_2 / p_1)^{-1}} \sqrt{g/RT_2} \sqrt{p_2^2 - p_1^2} \Leftrightarrow$$

$$q = K_p \sqrt{g/RT_2} \sqrt{p_2^2 - p_1^2}$$