УДК 539.3

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА ЗАДАЧ МЕХАНИКИ

Гоменюк С.И., к.ф.-м.н., доцент, Морозов Д.Н., аспирант, Толок В.А., д.т.н., профессор

Запорожский государственный университет

Описывается инструментальная система FORTU, предназначенная для численного анализа задач механики деформируемого твердого тела. В основе системы лежит проблемно-ориентированный язык FORTU-2, позволяющий пользователю самостоятельно программировать численную схему расчета на базе вариационных принципов и метода конечных элементов. Приводятся примеры расчетов.

Ключевые слова: метод конечных элементов, вариационные принципы, контактные задачи механики, инструментальная система, язык программирования fortu-2.

Гоменюк С.І., Морозов Д.М., Толок В.О. ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЧИСЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЗАДАЧ МЕХАНІКИ / Запорізький державний університет, Україна

Описується інструментальна система FORTU, призначена для чисельного аналізу задач механіки твердого тіла, що деформується. В основі системи лежить проблемно-орієнтована мова FORTU-2, що дозволяє користувачу самостійно програмувати чисельну схему розрахунку на базі варіаційних принципів і методу скінченних елементів. Наводяться приклади розрахунків.

Ключові слова: метод скінченних елементів, варіаційні принципи, контактні задачі механіки, інструментальна система, мова програмування fortu-2.

Gomenyuk S.I., Morozov D.N., Tolok V.A. EXPERIENCE OF APPLICATION OF TOOL SYSTEMS FOR THE NUMERICAL ANALYSIS OF PROBLEMS OF THE MECHANICS. / Zaporizhzhya State University, Ukraine.

The tool system FORTU intended for the numerical analysis of problems of the mechanics of a deformable firm body is described. In a basis of system the problem-oriented language FORTU-2 allowing the user lays is independent to program the numerical circuit of calculation on the basis of variation principles and a method of final elements. Examples of calculations are resulted.

Key words: method of finite elements, variational principles, contact problems of the mechanics, tool system, the programming language fortu-2.

Развитие техники постоянно требует разработки новых методов численного расчета напряженно-деформированного состояния твердого тела. В настоящее время создано значительное количество программных систем, автоматизирующих различные этапы численного анализа задач механики. Наиболее известными среди них являются COSMOS, ANSYS, LS-DYNA, COMET Acoustic и др. Однако все эти системы, как правило, являются замкнутыми для пользователя, что не позволяет ему вмешиваться в процесс решения на уровне метода расчета. Это приводит к необходимости программирования нестандартного (или отсутствующего в конкретной системе) метода, что усложняет процесс решения задачи.

Исследования показывают, что наиболее перспективным направлением в развитии систем автоматизированного расчета задач механики является разработка проблемно-ориентированных языков программирования высокого уровня, позволяющих пользователю самостоятельно формулировать метод численного решения задачи в терминах его предметной области. Одним из примеров реализации такого подхода является разработка инструментальной системы программирования nDarray [1], позволяющей описывать метод численного решения задачи механики с использованием модификации языка программирования C++.

Использование вариационных принципов в качестве формального способа описания задач и методов их решения позволяет существенно упростить и сократить это описание. Для этого требуется разработка некоторого специализированного языка, позволяющего исследователю задать базовый вариационный принцип и основные соотношения математической модели анализируемого механического процесса.

С этой целью был разработан язык программирования FORTU-2 [2], являющийся средством описания общей постановки задач механики и использующий объектно-ориентированную парадигму. Он позволяет описывать геометрическую и физическую модель рассчитываемого объекта, а также метод его расчета.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ЗАДАЧ МЕХАНИКИ FORTU

Основные разрешающие уравнения теории упругости могут быть получены на основе вариационного принципа Лагранжа

$$\delta(\Pi - A) = 0\,,$$

или принципа Гамильтона-Остроградского

$$\delta\int_{\tau}(T-\Pi+A)\delta\tau=0,$$

где T - кинематическая энергия, П - потенциальная работа, А - работа внешних и внутренних сил [3,4]. Язык FORTU-2 является развитием языка FORTU [5,6] и позволяет описывать произвольные функционалы и формульные соотношения (правила вывода), определяющие ту или иную схему расчета. Для этого в язык введены необходимые синтаксические и семантические конструкции, дающие возможность описывать геометрическую и математическую модель каждого объекта рассматриваемой механической системы, способ их взаимодействия и схему расчета. Причем каждый объект описывается отдельной секцией в программе (рис. 1).

```
OBJECT obj1 (...), obj2(...), obj3(...), obj_con(obj1 + obj2 + obj3);


obj1.BEGIN
        ...
        END
        ...

obj_con.BEGIN
        ...
          END
```

Рис. 1. Общая структура FORTU-2-программы

Каждая секция должна содержать описание и определение необходимых констант, функций, формульных выражений и функционалов, задающих математическую модель. Структура секции имеет вид (рис. 2):

```
obj.BEGIN
        ! Секция описания констант, функций, функционалов
        CONSTANT …
        FUNCTION …
        VARIBALE…
        FUNCTIONAL …
        ...
        ! Секция их определения
        …
END
```

Рис. 2. Общая структура секции описания объекта в FORTU-2-программе

Секция описания функционалов и правил вывода непосредственно задает схему расчета, на основании которой и будут в дальнейшем производиться все вычисления. Так, например, описание плоской задачи теории упругости на базе принципа Лагранжа имеет вид (рис. 3):

```
        …
        ! Определение констант
        E = 10^6
        m = 0.25
        K = E / (1.0 - m^2)
        G = E / (2.0 + 2.0 * m)

        ! Определение правил вывода
        Exx     = diff(u,x)
        Eyy     = diff(v,y)
        Gxy      = diff(u,y) + diff(v,x)
        Sxx      = K * (Exx + m * Eyy)
```

```
Syy      = K * (Eyy + m * Exx)
Txy      = G * Gxy

! Описание функционала
U    = 0.5*Integral(Sxx * Exx + Syy * Eyy + Txy * Gxy)
…
```

Рис. 3. Фрагмент FORTU-2 программы, задающий функционал

Для использования языка FORTU-2 была разработана инструментальная система анализа задач механики, получившая название FORTU [7]. Система позволяет полностью автоматизировать все стадии численного расчета задач механики с использованием метода конечных элементов (от задания геометрической модели рассчитываемой конструкции, и ее дискретизации на конечные элементы, до получения численного решения и его последующего анализа). В состав FORTU входят:

- препроцессор, предназначенный для подготовки исходных данных;
- процессор, предназначенный для проведения вычислений на основе программы, сформулированной в терминах языка FORTU-2;
- постпроцессор – подсистема анализа полученных численных результатов.

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ FORTU

Система FORTU прошла успешную апробацию при решении различных классов задач механики в двух- и трехмерной постановке (рис 4, 5).

Особый интерес представляет применение FORTU для решения контактных задач в трехмерной постановке, возникающих при проектировании трансформаторов. Рассматривался широкий класс задач о контактном взаимодействии элементов конструкции трансформатора - компрессионного кольца и дискретного основания. Особенностью рассматриваемой задачи является то, что в контакте одновременно участвует значительное количество конструкций, выполненных из анизотропных материалов. Результаты расчета сопоставлялись с соответствующими результатами, полученными при помощи системы ANSYS [8] и стендовыми испытаниями. Сопоставление показало их хорошую согласованность. Пример работы постпроцессора при решении трехмерных контактных задач приведен на рис. 6.

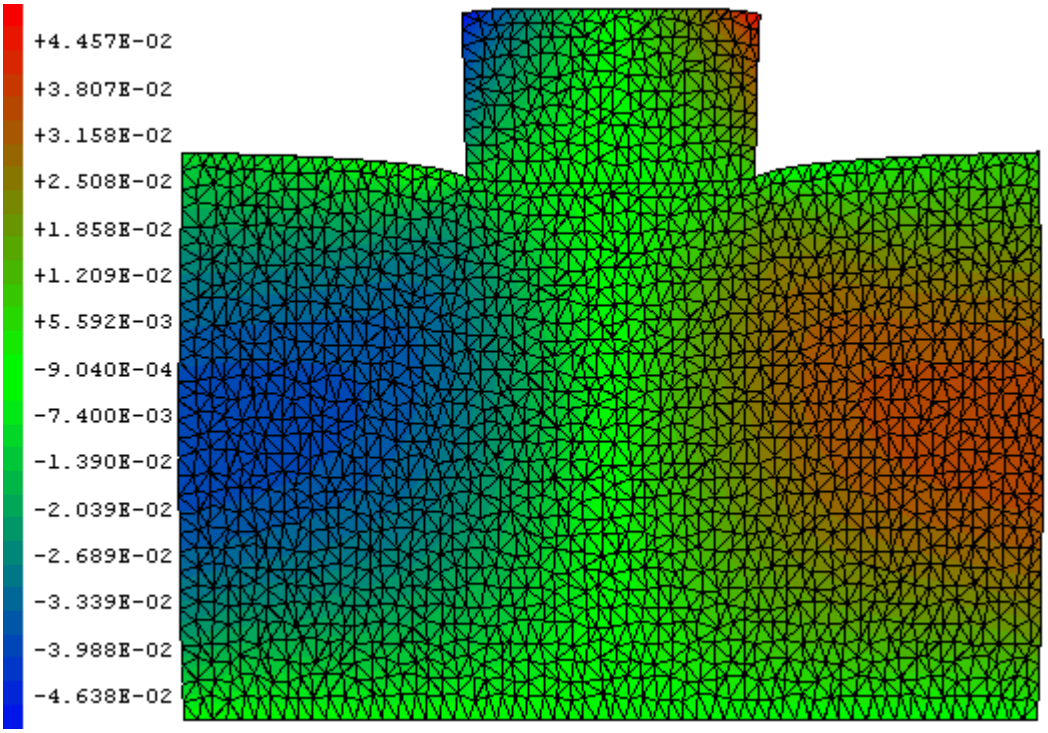

Рис. 4. Пример решения контактной задачи в двумерной постановке

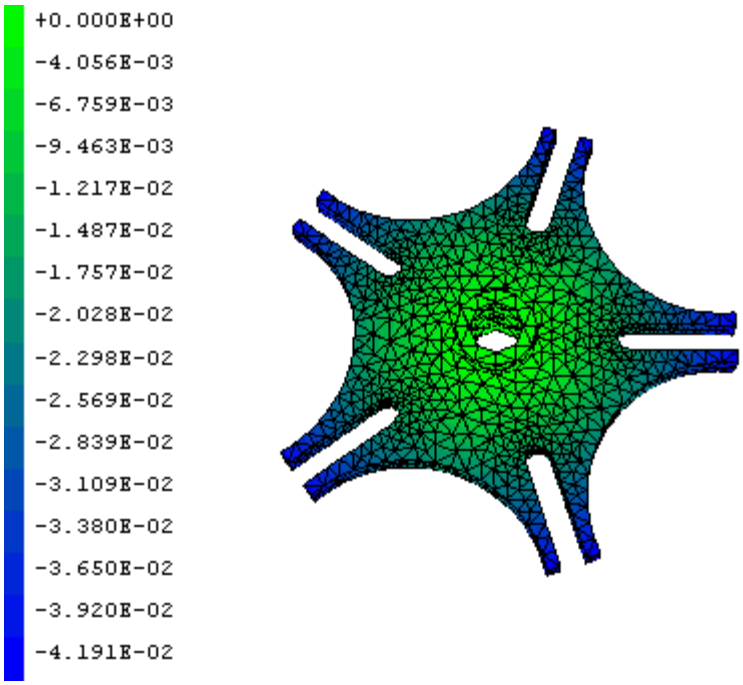

Рис. 5. Пример решения задачи в трехмерной постановке

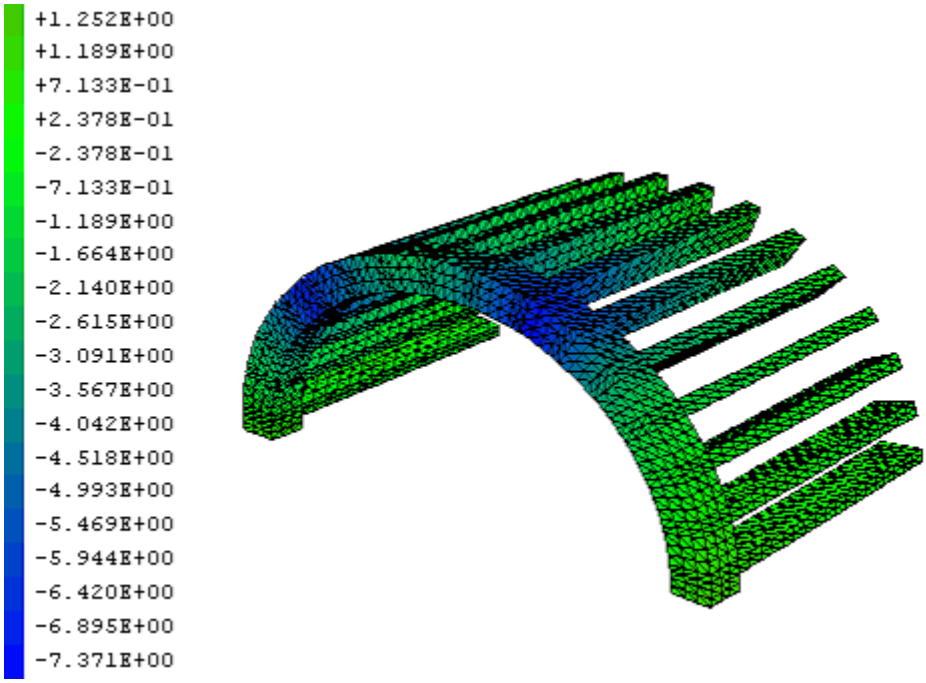

Рис. 6. Распределение w-перемещений по кольцу и основанию

ЛИТЕРАТУРА

1. Jeremis B., Sture S. Tensor objects in finite element programming .// International Journal for Numerical Methods in Engineering.- 1998.-Vol. 41, №1.- P.113-126, Wiley.

2. Гоменюк С.И., Толок В.А. Инструментальная система анализа задач механики деформируемого твердого тела, Придніпровський науковий вісник.- 4, 1997.№4.

3. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. - М: Мир, 1987.

4. Абовский Н.П., Андреев Н.П., Деруга А.П. Вариационные принципы теории упругости и теории оболочек.-М.:Наука, 1978.

5. Толок В.А. Алгоритмизация расчета цилиндрических оболочек: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.- Ташкент: АН УзССР, 1965.

6. Толок В.А. Алгоритмизация расчета цилиндрических оболочек.- Ташкент: ФАН, 1969.

7. Gomenyuk S.I., Tolok A.V., Tolok V.A., The Instrumental system of mechanics problems analysis of the deformed solid body // IKM, Weimar.-1997.

8. ANSYS, Inc.: Dominating Engineering Simulation. www.ansys.com