

**Список цитированных источников**

1. Васильев, Р.Б. Управление развитием информационных систем: учеб.-метод. пособие для вузов / Р.Б. Васильев, Г.Н. Калянов, Г.А. Левочкина; под ред. Г.Н. Калянова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 376 с.

2. Экономическая информатика: введение в экономический анализ информационных систем: учеб. / Под ред. М.И. Лугачева.– М.: ИНФРА-М, 2011. – 958 с.

УДК 539.3

**FORTRAN – ПРОГРАММА ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ И ТЕРМОУПРУГОСТИ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ*****Веремейчик А.И., Гарбачевский В.В., Мороз Е.А.****Брестский государственный технический университет, г. Брест**Научный руководитель: Хвисевич В.М., к.т.н., доцент*

Важной в инженерной практике задачей является исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) конструктивных элементов машин и механизмов при механическом и температурном нагружении. В некоторых случаях достаточно ограничиться решением двумерных задач теории упругости и термоупругости [1]. Однако не все существующие программы позволяют проводить расчет для тел с произвольной геометрией границы. Существующие вычислительные комплексы (ANSYS, NASTRAN и др.), построенные на базе метода конечных элементов (МКЭ), позволяют исследовать НДС тел с любой геометрией, однако они сложны в использовании и имеют некоторые ограничения, например для бесконечных или полубесконечных тел. Слабая сторона МКЭ состоит в том, что он, во-первых, представляет собой схему дискретизации всего тела, а это неизбежно ведет к очень большому количеству конечных элементов, и, во-вторых, часто приводит к нереальным разрывам значений физических величин.

Очевидным альтернативным подходом к системе дифференциальных уравнений является попытка аналитически проинтегрировать их каким-нибудь способом или перед переходом к какой-либо схеме дискретизаций или перед введением какой-либо аппроксимации. Сущность методов граничных интегральных уравнений (ГИУ) состоит в преобразовании дифференциальных уравнений в эквивалентную систему интегральных уравнений в качестве первого шага решения задачи. Вторым шагом является сведение полученных интегральных уравнений к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Решение СЛАУ легко программируется и является идеальным способом реализации решения на ЭВМ.

Метод ГИУ, основанный на теории потенциала, имеет характерную особенность – возможность решения задачи с использованием дискретизации лишь границы области. Это позволяет снизить на единицу порядок решаемой системы алгебраических уравнений. Естественно, что реализация такой возможности в методе ГИУ предусматривает предварительный переход от исходной краевой задачи для дифференциальных уравнений, описывающих некоторый процесс, к соотношениям, связывающим неизвестные функции на границе области (или ее части).

На основе разработанного алгоритма численного решения интегральных уравнений краевых задач методом ГИУ [2] разработана компьютерная программа на алгоритмическом языке «FORTRAN». Программа предназначена для расчёта конструктивных эле-

ментов, находящихся в условиях плоского напряженного состояния или плоской деформации. Область, занятая телом, может быть односвязной или многосвязной.

По разработанной программе можно решать как внутренние, так и внешние краевые задачи теории упругости и термоупругости. Для внешней задачи задаётся напряжение в бесконечно удалённой точке. При разработке программы учитывалась геометрическая и физическая симметрия (рассматриваемая область и нагрузка). Учёт осевой симметрии расширяет возможности программы, облегчает ввод исходной информации.

В соответствии с алгоритмом [2], процесс реализации задачи делится на три этапа. На первом этапе осуществляется ввод и обработка исходных данных. Результатом обработки являются координаты центров отрезков разбиения границы области, их длины, радиусы кривизны и координаты вектора внешней нормали. На этом этапе формируется также массив внешней нагрузки и задание характеристик материала. На втором этапе составляется и решается СЛАУ, результатом которой являются значения плотностей потенциала в точках границы области. Алгебраическая система решается методом последовательных исключений Гаусса. При формировании строк матрицы в зависимости от расстояния между параметрической точкой и отрезком интегрирования автоматически определяется число узлов точек квадратурной формулы Гаусса. На 3-м этапе вычисляются напряжения и перемещения на границе области в соответствующих внутренних точках области по формулам [2, 3].

При построении расчётной области следует стремиться получать границу с кусочно-непрерывной, ограниченной кривизной. Если по каким-либо причинам трудно привести задачу к гладкой границе, в программе предусматривается возможность реализации области с выступающими и входящими углами.

В стандартном режиме программа реализует задачи для областей, ограниченных отрезками прямых и окружностей. Рассматриваемая область может быть произвольной, заданной графически или аналитически. В связи с этим, изменения вносятся в подпрограмму ввода исходных данных и содержат подпрограммы или набор операторов по вычислению координат центров отрезков разбиения границы, радиусов кривизны, длин, векторов внешней нагрузки только для тех участков, которые нельзя заменить окружностью или прямой. В программе также предусмотрена диагностика ввода и обработки исходных данных.

С помощью разработанной программы решен ряд тестовых задач по исследованию НДС при механическом и температурном нагружении. Для большей наглядности результаты расчетов обрабатываются с помощью программы для визуализации «ТесPlot 360».

1. Напряжённо-деформированное состояние длинной стальной полосы с отверстиями.

Многосвязная область нагружена распределённой по концам равномерной контурной нагрузкой  $1 \text{ Н/м}$ . Материал полосы – сталь 30. Область имеет внешний и внутренний контуры (рис 1).

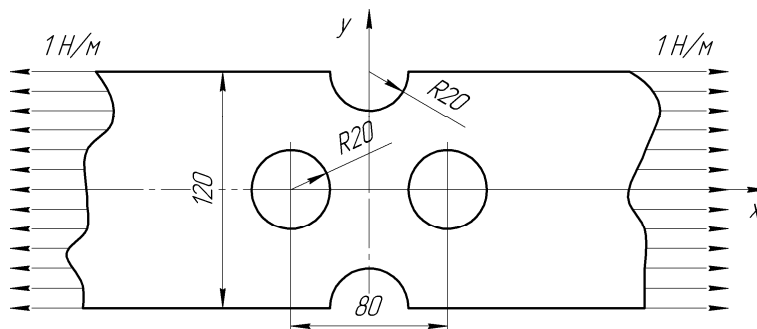
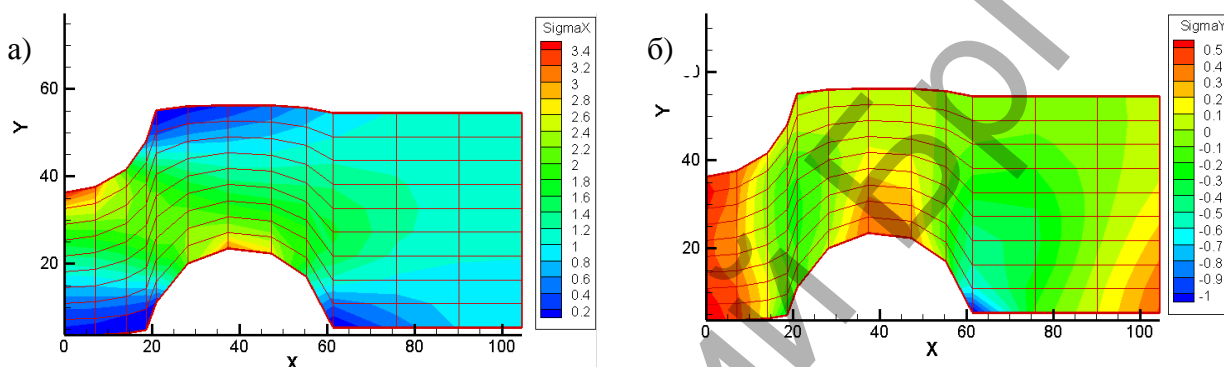


Рисунок 1 – Растяжение полосы с концентраторами напряжений

Область имеет две плоскости симметрии, проходящие через оси X и Y. Вырежем элемент полосы длиной 210 мм в зоне ослабления. Учитывая свойства симметрии, расчётная схема представляет собой четверть области.

Расчётная область имеет 4 непрерывных участка, являющихся отрезками прямых и дугами окружностей. Для каждого участка назначается определённое число отрезков. При этом необходимо вводить ограничения на их длину. Центр отрезка не должен находиться к противоположному участку границы ближе, чем половина длины ближайшего отрезка разбиения. Каждый участок в порядке нумерации разбит соответственно на 15; 25; 15; 25 участков.

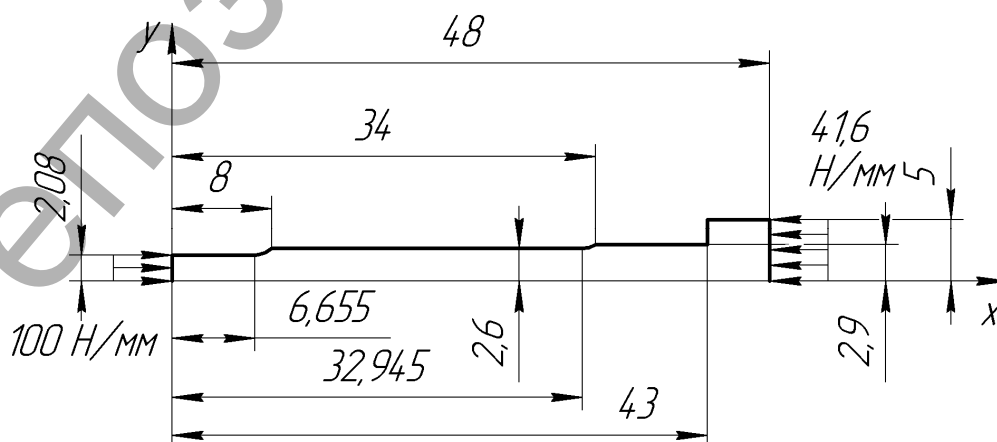
В результате численного решения задачи получено распределение полей напряжений и деформаций. Типичное распределение нормальных напряжений приведено на рис. 2.



**Рисунок 2 – Распределение нормальных напряжений: а) по оси X, б) по оси Y**

## 2. Напряжённо-деформированное состояние пробивного пуансона.

Данная деталь используется для пробивки отверстий. Материал пуансона – сталь X12M. Многосвязная область, представляющая собой продольное сечение, нагружена распределённой на пробивном конце равномерной контурной нагрузкой  $100 \cdot 10^6$  Н/м. Область имеет только внешний контур, а так же плоскость симметрии, проходящую через ось Y. Напряжения на закрепляемом конце можно представить как равномерную контурную нагрузку, численно равную 41,6 Н/мм. Учитывая свойства симметрии, построим расчётную схему для реализации этой задачи (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Расчётная схема пуансона**

Расчётная кусочно-гладкая область имеет 9 непрерывных участков, являющихся отрезками прямых и дугами окружностей. Каждый участок в порядке нумерации разбит соответственно на 15; 16; 15; 32; 10; 55; 10; 32; 15 участков.

В результате реализации задачи получено напряженное состояние в соответствующих точках области (рис. 4).

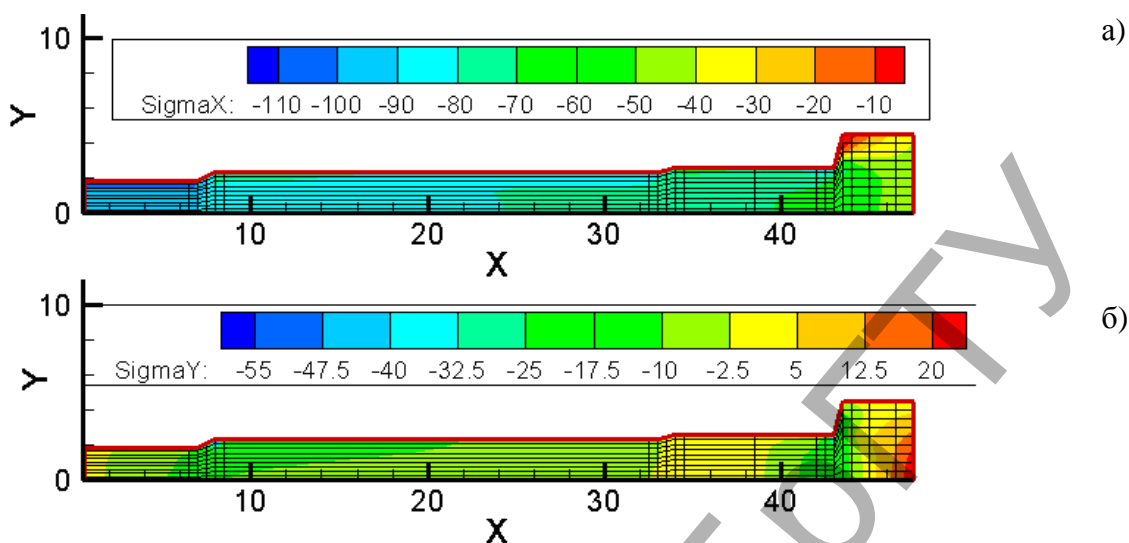


Рисунок 4 – Распределение нормальных напряжений в продольном сечении:  
а) по оси X, б) по оси Y

Ввиду отсутствия аналитических решений сравнение результатов проводилось при помощи вычислительного комплекса «ANSYS» [3]. Количественная оценка напряжений показала, что результаты решений задач обоими способами отличаются в допустимых пределах при проведении инженерных расчётов.

В результате сравнения возможностей МГИУ и МКЭ при решении задач механики деформированного твердого тела следует заметить, что применение разработанной FORTRAN-программы существенно упрощает подготовку исходной информации, расширяет класс решаемых задач, позволяет получить более точные результаты, следовательно, её можно эффективно использовать для оценки НДС конструктивных элементов при воздействии механических и температурных нагрузок.

#### Список цитированных источников

1. Новацкий, В. Теория упругости. – М.: Мир. – 1975. – 872 с.
2. Хвисевич, В.М. Интегральные уравнения и алгоритм решения плоской краевой задачи стационарной термоупругости методом потенциала // Строит. механика и расчет сооружений. – 1991. – № 2. – С. 48-51.
3. Гарбачевский, В.В. Численное решение двумерных задач механики деформируемого твердого тела методом потенциала: дис. ... магистр. тех. наук.: 05.13.18 / В.В. Гарбачевский. – Брест, 2012. – 62 с.

УДК 004.023

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ WI-FI

**Евменьева А.П., Евменьева М.А.**

*Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроник, г. Минск*

*Научный руководитель: Куликов С.С., к.т.н., доцент*

В работе разработан алгоритм определения местоположения объекта с точностью до 1-го метра с помощью технологии Wi-Fi. Освещаются текущие подходы определения местоположения их достоинства и недостатки. Так как данные об местоположений сегодня используются во многих приложениях, то данная тема является весьма актуальной.