

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРОВОДИМЫХ НА ЭЛЕКТРОМОДЕЛИРУЮЩЕМ КОМПЛЕКСЕ ПРИ РЕШЕНИИ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ

Г.П. ТАРИКОВ, А.Т. БЕЛЬСКИЙ,
В.В. КОМРАКОВ, Е.А. ХРАБРОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Результаты решения пространственных контактных задач с помощью электромоделлирующего устройства во многом определяются чистотой проведения эксперимента. На электрическое поле токопроводящего элемента, являющимся аналогом площадки контакта, могут воздействовать поля окружающих электрических приборов. Кроме того, большое значение имеет точное определение положения точек на токопроводящем элементе, в которых производятся измерения и качество его изготовления. В связи с этим есть необходимость в разработке мер по повышению точности результатов проводимых исследований.

Цель работы

Повышение точности измерений и решение задачи о вдавливании штампа сложной формы в плане при внецентренном нагружении в упругое полупространство с помощью электромоделлирующего комплекса.

Методы повышения точности результатов эксперимента

Токопроводящий элемент 1 расположен на координатном столике 2 (рис. 1), зонд 3 и измерительное устройство служат для измерения плотности заряда на поверхности токопроводящего элемента.

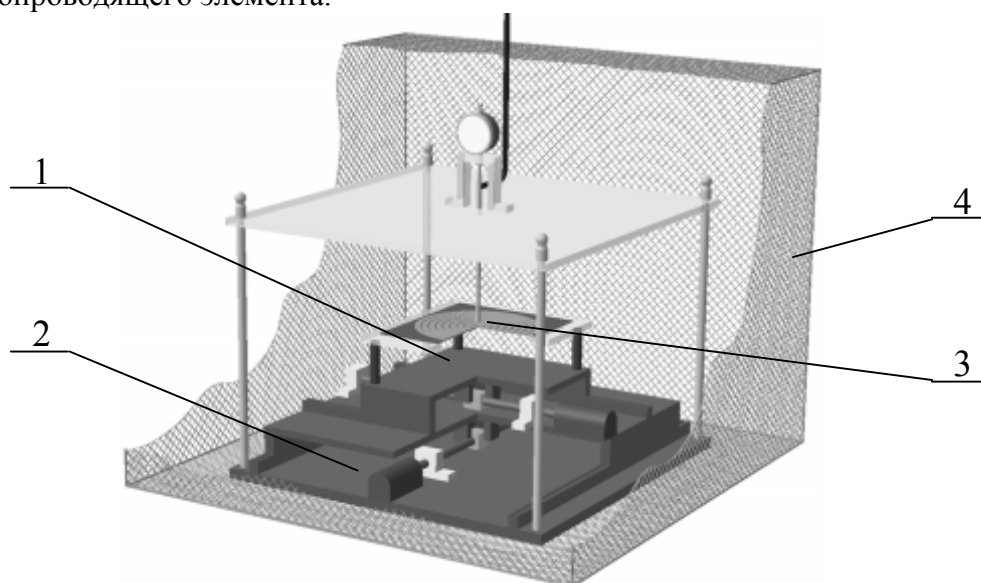


Рис. 1

Для того, чтобы избежать влияния внешних электрических полей на электрическое поле токопроводящего элемента 1 и тем самым повысить точность измерений, применен экран 4, выполненный из металлической сетки.

Первоначально при проведении экспериментов токопроводящий элемент представлял собой набор отдельных пластин, выполненных из листовой латуни и закрепленных на основании из диэлектрического материала. В этом случае происходило коробление пластин, в результате чего изменялось расстояние между зондом и токопроводящим элементом, при проведении эксперимента, что приводило к увеличению погрешности его результатов. Для устранения этого отрицательного фактора токопроводящий элемент выполняется в виде печатной платы, изготовленной из фольгированных материалов, что одновременно упрощает и ускоряет процесс создания токопроводящего элемента.

Для построения линий равных контактных давлений и эпюр необходимо иметь значения плотности заряда в как можно большем количестве точек аналога площадки контакта.

Для точного определения положения этих точек на поверхности токопроводящего элемента используются датчики обратной связи, сделанные на основе манипулятора мышь. Вращение валов электродвигателей, приводящих в движение координатный столик, с помощью инфракрасных пар преобразуется в электрические сигналы. Эти сигналы передаются через СОМ порт компьютера и обрабатываются рассматриваемой программой. Достижимая точность позиционирования составляет $\pm 0,02$ мм. При этом максимальный размер окна сканирования составляет 200x220 мм. Минимальный шаг сканирования равен 0,5 мм. Таким образом, возможно измерение плотности заряда на поверхности токопроводящего элемента в 176 000 точках. При этом весь процесс сканирования занимает около 30 минут.

Сравнение результатов решения эталонных задач аналитически и экспериментально показало, что удалось повысить точность результатов экспериментов до 3 %.

Методика решения новой контактной задачи на электромоделлирующем комплексе

Рассмотрим результаты решения задачи о вдавливании штампа сложной формы в плане при внецентренном нагружении в упругое полупространство (рис. 2) с помощью электрического моделирования.

Как известно [1], эта задача может быть приведена к следующему интегральному уравнению:

$$\iint_{\Sigma} \frac{p(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} = \frac{\delta - \beta_y x}{\Theta}, \quad (1)$$

где $\Theta = \frac{1-v^2}{\pi E}$; β_x – проекция вектора поворота штампа на ось x ; δ – перемещение штампа; $p(x, y)$ – контактное давление под штампом; v – коэффициент Пуассона; E – модуль упругости первого рода.

Под действием силы P , штамп переместится поступательно параллельно оси z и совершит поворот вокруг некоторой оси, расположенной в плоскости xOy .

Введя обозначение $W(x, y) = \frac{\delta - \beta_y x}{\Theta}$, получим интегральное уравнение

$$\iint_{\Sigma} \frac{p(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} = W(x, y). \quad (2)$$

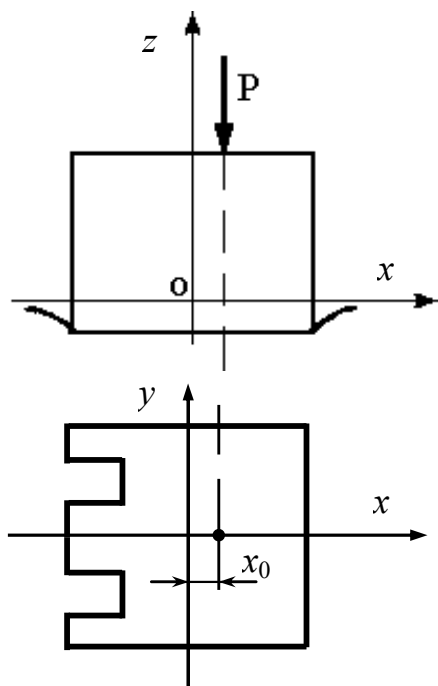


Рис. 2

Уравнения равновесия штампа будут иметь вид:

$$P = \iint_{\Sigma} p(x, y) dx dy,$$

$$x_0 P = \iint_{\Sigma} xp(x, y) dx dy. \quad (3)$$

Как известно [2, 3], задача о распределении заряда по поверхности токопроводящей пластины сводится к следующему интегральному уравнению:

$$\psi(x, y) = \frac{1}{4\pi k_0 \varepsilon} \iint_{\Sigma} \frac{q(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}}, \quad (4)$$

где $q(x, y)$ – плотность электрического заряда; k_0 – диэлектрическая постоянная; ε – диэлектрический коэффициент среды. Общее количество электричества на пластине будет:

$$Q = \iint_{\Sigma} q(x, y) dx dy. \quad (5)$$

Введем обозначение $\Psi(x, y) = \psi(x, y) 4\pi k_0 \varepsilon$ и запишем уравнение (4) следующим образом:

$$\iint_{\Sigma} \frac{q(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}} = \Psi(x, y). \quad (6)$$

Таким образом, две рассматриваемые линейные системы описываются математически подобными интегральными уравнениями (2) и (6). Причем их подобие является полным. Сходственными параметрами в данном случае будут $p(x, y)$ и $q(x, y)$, $W(x, y)$ и $\Psi(x, y)$. Токопроводящий элемент, который в рассматриваемом случае представляет собой пластину, при определенных условиях может служить аналогом площадки контакта.

Электрический потенциал, подаваемый на токопроводящий элемент, является аналогом перемещения штампа, а наблюдаемое при эксперименте распределение электрических зарядов по поверхности токопроводящего элемента будет одновременно являться и решением интегрального уравнения (2), описывающего распределение контактного давления на площадке контакта.

Из аналогии уравнений (2) и (6) следует, что при решении задачи на аналоге площадки контакта необходимо задать электрический потенциал в соответствии с правой частью уравнения (2). Для этого используется распределительный блок, который позволяет подавать различные электрические потенциалы на отдельные участки токопроводящего элемента.

Методика решения задачи

1. Создавался аналог площади контакта, имеющий ее форму в плане, в виде набора изолированных друг от друга параллельно расположенных токопроводящих пластин (2).

2. На каждую из пластин токопроводящего элемента подавался электрический потенциал, моделирующий правую часть уравнения (2) при заданном перемещении и угле поворота соответствующего участка основания штампа.

3. Токопроводящий элемент разбивался на ряд малых участков ΔF_i , в которых определялась плотность заряда $q(x_i, y_i)$ и затем определялся полный электрический заряд Q .

4. Используя критерии подобия, вычислялись контактные давления $p(x_i, y_i)$ в соответствующих точках площади контакта и сила P , действующая на штамп.

5. Зная характер распределения и величину контактных давлений, а также значение силы P , определялись момент, вызывающий поворот штампа, и эксцентриситет e .

Результаты решения задачи

Линии равных отношений силы P , действующей на штамп к среднему значению контактного давления ($p_{cp} = P/A$), для случаев поворота штампа вокруг оси y_c по часовой стрелке и против часовой стрелки показаны на рис. 3, 4. При этом значения углов наклона α были приняты равными $\alpha = 12', 24'$.

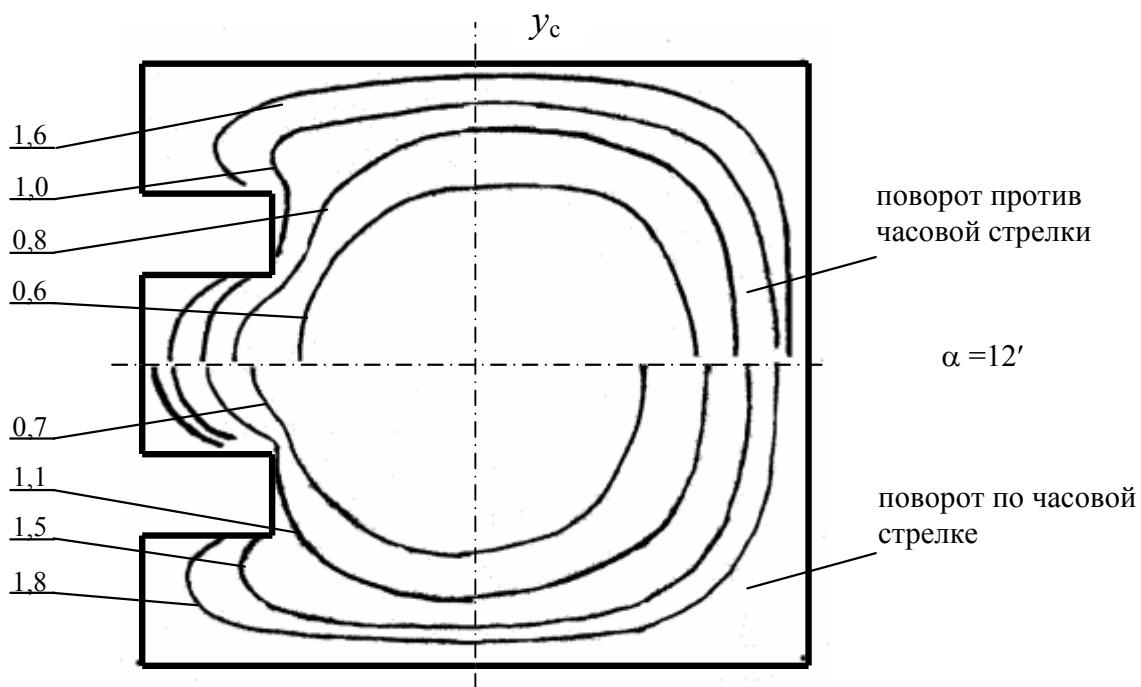


Рис. 3

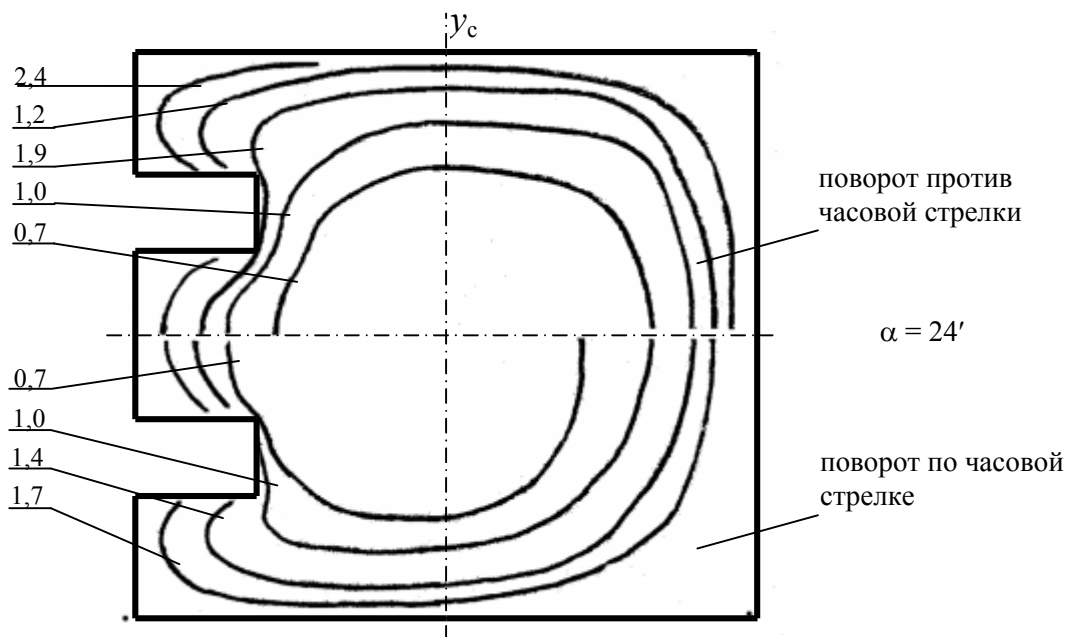


Рис. 4

Выводы

Применение экрана, нового способа изготовления токопроводящего элемента и введения датчиков обратной связи для повышения точности позиционирования позволило решать сложные пространственные контактные задачи теории упругости с точностью, достаточной для инженерных приложений.

Литература

1. Лурье А. И. Пространственные задачи теории упругости / А. И. Лурье. – М., 1965. – 491 с.
2. Галин Л. А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости / Л. А. Галин. – М. : Наука, 1980. – 303 с.
3. Тамм И. Е. Основы теории электричества / И. Е. Тамм. – М. : Наука, 1976. – 616 с.

Получено 25.10.2005 г.