

ных условиях и при воздействии сосредоточенного мгновенного давления  $p = \delta(\tau)\delta(\theta - \xi)$ , где  $\delta(\tau)$ ,  $\delta(\theta - \xi)$  – дельта-функции Дирака. При этом в формуле (1) полагаем  $\tilde{p}_1 = p - p_2|_{r=1}$ ,  $\tilde{p}_0 = p_2|_{r=R_0}$ . Для решения системы уравнений (1)–(5) используется метод Фурье разделения переменных, при котором все искомые функции, зависящие от радиальной и временной переменных, раскладываются в ряды по полиномам Лежандра и их производным. При подстановке этих разложения в (1)–(5) получаем бесконечную систему дифференциальных уравнений относительно неизвестных коэффициентов, зависящих от времени и угловой координаты, для решения которой применяется преобразование Лапласа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-08-00260).

#### Список литературы

- 1 Волны в сплошных средах : учеб. пособие для вузов / А. Г. Горшков [и др.]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 632 с.
- 2 Михайлова, Е. Ю. Нестационарный контакт сферической оболочки и упругого полупространства / Е. Ю. Михайлова, Г. В. Федотенков, Д. В. Тарлаковский [Электронный ресурс] // Труды МАИ : электронный журнал. – 2014. – Вып. 78. – Режим доступа : <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=53499>. – Дата доступа : 10.08.2017.

УДК 539.4:621.6

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В УПРУГОМ ТЕЛЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ШИНЫ КОЛЕСА

*В. В. МОЖАРОВСКИЙ, Д. С. КУЗЬМЕНКОВ*

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь*

Перспективы прогресса в машиностроении и строительстве в основном связываются с разработкой и широким применением композиционных материалов (композитов).

Применение в мировой практике высокоскоростного и надежного промышленного транспорта с массивными шинами (автомобильные, электропоезда, подвесные канатные дороги, эскалаторы метро и др.), а также новых способов передачи движений требует создания новых армирующих материалов и инженерных методик расчета. Недостаточно изученное влияние конструктивной анизотропии на напряженно-деформированное состояние дорожного покрытия при силовом квазистатическом воздействии не позволяет обосновать практику их проектирования; не существует сравнимых по эффективности методов расчета поведения конструкций из композитов при контакте по ним внешними объектами. В связи с этим есть необходимость в разработке математической модели и компьютерных программ расчета напряжений при статическом контакте штампа (моделирующего шину колеса) с телом (или покрытием) из композита при различных физических параметрах взаимодействия.

В данном случае особенно важно исследовать механические свойства армированных материалов, работающих в процессе:

- статического контактного взаимодействия цилиндрического тела (моделирующего шину) и слоистого основания;
- зависимости напряженного состояния упругих тел из композитов (при статическом контакте) от типа ориентации волокон материала, например армированного кордом.

Анализ применения анизотропных композиционных материалов нельзя производить без учета их взаимодействия с другими телами сопряжения, а также материала матрицы и армирующих элементов, геометрии компонентов и структуры, и расположению компонентов. Важно учитывать также и метод изготовления материала, что является весьма сложной и многопараметрической задачей.

В связи с этим возникает цель исследований – создание математических моделей и алгоритмов расчета напряженно-деформированного состояния слоистых систем при силовом статическом воздействии, а также методики, реализующей определение напряжений и перемещений в объемном теле при заданных областях контакта и действующего давления.

На основании работ [1, 2] представлен алгоритм и создана программа, реализующая определение напряжений и перемещений в объемном теле заданной формы. Для решения поставленной задачи был использован и успешно запрограммирован метод конечных элементов. Применялись пря-

моугольные конечные элементы. Данная программа позволяет находить напряженно-деформированное состояние в упругом теле при изменяющейся зоне контакта и действующем давлении во времени. Метод основан на считывании цвета в зоне контакта (каждому давлению в точке соответствует свой цвет). Например, экспериментально полученные результаты можно обработать и получить картину изменения НДС.

Ведется работа по распознаванию цветов загруженного из файла изображения, т. е. загружаем изображение, его разбиваем на КЭ и определяем средний цвет в КЭ и соотносим его к одному из выбранных в программе цветов, которому соответствует определенное значение нагрузки (рисунок 1).

Разработанный программный пакет расчета позволяет строить объемные графики напряжений и перемещений как на поверхности основания (рисунок 2), так и внутри его, а также изменения компонент напряжений или перемещений с течением времени.

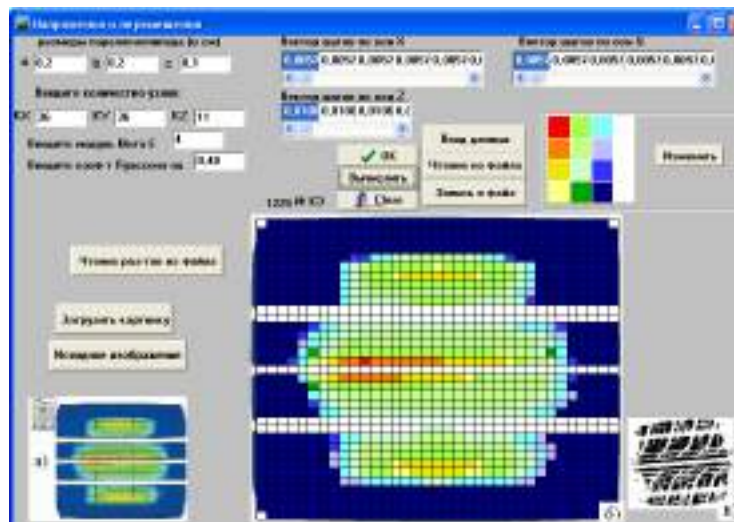


Рисунок 1 – Схема расчета при действии нагрузки (шины колеса) на основание:  
*a* – численный расчет [1]; *б* – программная реализация; *в* – эксперимент в черно-белом свете [2]

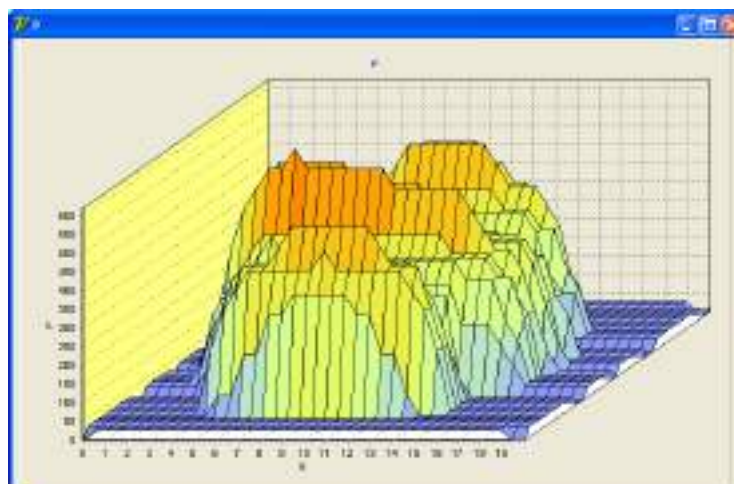


Рисунок 2 – Качественная картина, показывающая расчет изменения давления на верхней границе

В перспективе исследования будут касаться построения методик определения напряженного и деформированного состояний покрытий дорог, механические свойства которых изменяются по глубине.

#### Список литературы

- 1 Рыжов, С. А. Проектирование шин с использованием программного комплекса ABAQUS / С. А. Рыжов, К. А. Ильин, А. Н. Варюхин // САПР и графика. – 2006. – № 1. – С. 20–40.
- 2 Анализ контактного взаимодействия автомобильной шины с колесным диском и дорожным покрытием / В. В. Можаровский [и др.] // Доклады Белорусского конгресса по механике: сборник научных трудов. – Минск, 2007. – С. 135–142.