



Рисунок 1 – Винтовой съемник подшипников [2]

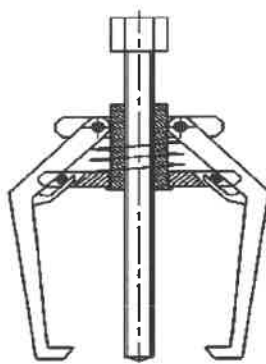


Рисунок 2 – Вид предлагаемой конструкции съемного приспособления

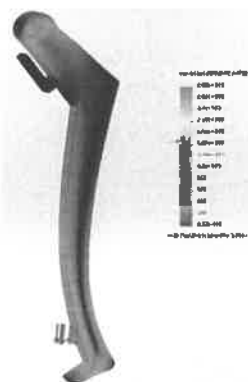


Рисунок 3 – Напряженно-деформированное состояние модели

Анализ напряженно-деформированного состояния заключался в определении областей на модели, в которых возникшие напряжения выше предела прочности материала, в нашем случае материал сталь 40ХН2МА термообработанная, предел прочности при растяжении  $1750 \text{ Н/мм}^2$ .

**Заключение.** В работе рассмотрены конструкции съёмных приспособлений, применяемых в машиностроении. Определены проблемы, возникающие при использовании съёмных приспособлений при выполнении ремонта машиностроительной техники. Разработана конструкция съёмного приспособления для среднегабаритных машиностроительных деталей. Проведены модельные исследования распределения нагрузки при использовании разработанного съёмного приспособления с использованием Cals-технологий. Разработана технология сборки приспособления, а также показана экономическая целесообразность его применения. Разработанное съёмное приспособление для среднегабаритных машиностроительных деталей рекомендуется для ремонтных предприятий или их ремонтных подразделений в машиностроительной отрасли.

#### Список литературы

- 1 Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя / В. И. Анурьев. В 3 т. Т. 1. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980. – 728 с.
- 2 Черпаков, Б. И. Технологическая оснастка : учеб. / Б. И. Черпаков. – М. : Академия, 2003. – 288 с.
- 3 Яковлев, Ю.В. Расчет и проектирование устройств с винтовой передачей : учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Ю. В. Яковлев. – Харьков : ХАИ, 1978. – 86 с.
- 4 Механический съемник : пат. 2271922 Российская Федерация, МПК В25В 27/02, В23Р 19/02 / Ю. В. Ларионов, Б. Н. Мясников, Н. И. Тимошкин (RU); патентообладатель: Самарская государственная сельскохозяйственная академия (RU); № 2002112505/11 опубл. 13.05.2002 // Официальный бюл. / Фед. служба по интеллектуальной собственности. – 2002. – № 8. – С. 3.
- 5 Устройство для демонтажа подшипника : пат. 2095231 Российская Федерация, МПК В23Р19/02 / В. В. Чурзин, М. Н. Белильцев, (RU); патентообладатель В. В. Чурзин, М. Н. Белильцев, (RU); № 5039563/28 опубл. 22.04.1997 // Официальный бюл. / Фед. служба по интеллектуальной собственности. – 1997. – № 8. – С. 6.

УДК 539.62

## РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНДЕНТОРА СО СЛОЕМ ИЗ КОМПОЗИТА

*В. В. МОЖАРОВСКИЙ, Д. С. КУЗЬМЕНКОВ, М. В. МОСКАЛЕВА*  
*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь*

Обзор современных исследований в области контактного взаимодействия в узлах трения из волокнистых композиционных материалов показывает необходимость создания новых математических моделей, учитывающих расположение волокон в контактирующих телах и их влияния на коэффициент трения, дальнейшей разработки асимптотических методов расчета. Решение плоских контактных задач для анизотропных покрытий представлено, например, в [1–3]. Существенно продвинул исследования в области асимптотических методов расчета слоистых систем применительно к контактным взаимодействиям [1–3], но в то же время, процесс реализации на ЭВМ в инженерных

расчетах с заданной точностью является актуальной задачей. В данной работе рассмотрена задача исследования определения параметров контакта для покрытия из композита при вдавливании упругого шара и цилиндрического инденторов. На основании аналитических зависимостей в ранее представленных статьях разработан алгоритм и создана программа, реализующая определение параметров контакта для покрытия из композита. Обработаны все возможные случаи ввода некорректных данных. После команды «Вычислить» программа по заранее определенному алгоритму находит для исходной задачи ширину зоны контакта, глубину вдавливания, приближение для  $P$ , давление  $P(r)$  и выводит результаты в виде таблицы, по нажатию на кнопку «график» будет построен график зависимости  $P(r)$  от  $r$ .

Были проведены экспериментальные исследования контактного взаимодействия жестких цилиндрических тел и шара с армированным слоем резины. Определены роль и направления волокон армировки на параметры контакта. Рассмотрена задача об определении параметров контакта для покрытия из композита (в виде танверсально-изотропного материала) при вдавливании упругого шара. Решение задачи сводится к решению интегрального уравнения по указанной методике [2, 3], используя асимптотический подход.

Алгоритм решения задачи. Программная реализация. Был разработан алгоритм и создана программа, реализующая определение параметров контакта для покрытия из композита при вдавливании упругого шара (рисунок 1). Программа по заранее определенному алгоритму определяет, для исходной задачи, ширину зоны контакта, глубину вдавливания, давление  $P(r)$  и выводит результаты в виде таблицы, по нажатию на кнопку «график» будет построен график зависимости  $P(r)$  от  $r$  (рисунок 2).



Рисунок 1 – Главное окно программы

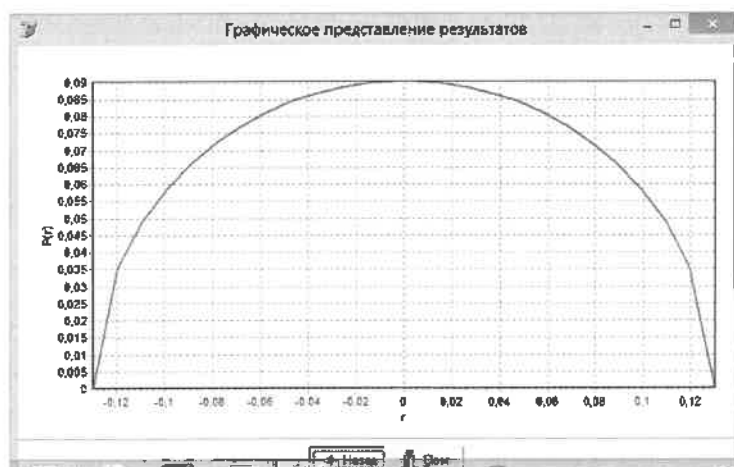


Рисунок 2 – График зависимости  $P(r)$  от  $r$

По полученным формулам находим все необходимые данные для определения коэффициентов для асимптотических зависимостей (для чего придется численно вычислять интегралы. В программе обработаны все возможные случаи ввода некорректных данных (не ввели что-либо, ввод букв, и т. д.).

**О реализации методики расчета зубьев зубчатых колес из композиционных материалов.** Расчет на прочность зубьев при статическом изгибе с учетом деформативности зубьев для пластмассовых колес, приведен в многочисленных работах. Одним из существенных факторов, которые необходимо учитывать при расчете и проектировании зубчатых передач из армированных волокнами пластмасс, является контактное перемещение зубьев зубчатых колес. Необходимо знать эффективность армирования волокнами, рассчитывать распределения нагрузки между зацепляющимися зубьями, определение фактического коэффициента перекрытия и т. д., определять контактные напряжения и местные перемещения в зубчатом зацеплении. Контакт моделируется в виде локального сжатия двух тел, радиусы которых  $R_1$  и  $R_2$  равны радиусам кривизны профилей зубьев колеса и шестерни в точке контакта. Используя вышеприведенную теорию, а также численно-аналитические методики, определяем контактную жесткость, при этом учитываем деформативность контактирующего зуба, используя ранее разработанные методики.

#### Список литературы

- 1 Можаровский, В. В. О контактном взаимодействии жесткого индентора с армированным резиновым слоем с учетом явлений вязкоупругости / В. В. Можаровский // Полимерные материалы и технологии. – 2017. – Т. 3, № 2. – С. 70–79.
- 2 Можаровский, В. В. Прикладная механика слоистых тел из композитов / В. В. Можаровский, В. Е. Старжинский. – Минск : Наука, 1988. – 280 с.
- 3 Argatov, I. I. Asymptotic analysis of the substrate effect for an arbitrary indenter / I. I. Argatov, F. J. Sabina // Quart. J. Mech. Appl. Math. – 2013. – No. 66. – P. 75–95.

УДК 539.382

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛОВ И ШЕРОХОВАТОСТИ ИХ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ ФОТОГРАФИЙ

*А. А. МОРГУНОВА, Л. Н. РАБИНСКИЙ*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

В настоящей работе проведены комплексные исследования процессов деформации и разрушения алюминиевых образцов при статическом растяжении. Этапы экспериментально-алгоритмического исследования включали: подготовку установки и образцов, испытания последних на растяжение и получение соответствующих инструментальных данных, а также изучение оптико-механических параметров на основе анализа цифровых фотографий образцов до и после нагружения.

При этом используется метод оценки механизма разрушения материала по данным анализа фотоизображения по параметру интенсивности изображения с привлечением многофакторного анализа связи между интенсивностью изображения, шероховатостью поверхности, выявлением геометрии площади деформации при различных условиях эксплуатации.

В работе исследованы деформационные процессы в алюминиевых образцах при одноосном статическом растяжении методом корреляции цифровых изображений до и после разрушения. Установлена статистически значимая взаимосвязь интенсивности изображения поверхности исследуемого образца с параметрами ее шероховатости. Метод корреляции позволяет визуализировать только деформации поверхности образца, поэтому требует использования большего разрешения цифровых фотоснимков. Дальнейшие исследования видятся в установлении взаимосвязи оценки интенсивности деформаций образца, полученной с помощью площадной корреляции изображений, и его микротвердостью при испытаниях на растяжение.

Работа выполнена в Московском авиационном институте в рамках выполнения гранта РФФИ (проект №20-01-00517).

#### Список литературы

- 1 Астапов, А. Н. Методы анализа структуры материала с применением цифровой обработки изображения / А. Н. Астапов, В. В. Бодрышев, А. А. Моргунова // Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы : тезисы докладов V Международного научного семинара. – М. : МАИ, 2016. – С. 18–21.
- 2 Бодрышев, В. В. Метод цифровой обработки изображений для идентификации размеров и концентраций фаз композиционных материалов / В. В. Бодрышев, А. А. Моргунова // Гагаринские чтения – 2017 : тезисы докладов XLIII Международной молодежной научной конференции. – М. : МАИ, 2017. – С. 348.
- 3 Бодрышев, В. В. Оценивание геометрических характеристик наноразмерных частиц оксидов металлов методом цифрового анализа изображений : тезисы докладов 16-й Международной конференции / В. В. Бодрышев, А. А. Моргунова // Авиация и космонавтика. – 2017. – М. : МАИ. – 2017. – С. 467–468.

УДК 539.376

### ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ТЕРМОСИЛОВОМ ОСЕСИММЕТРИЧНОМ НАГРУЖЕНИИ КРУГОВОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ В СВОЕЙ ПЛОСКОСТИ

*А. В. НЕСТЕРОВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рассматривается осесимметричное деформирование трехслойной круговой пластины в своей плоскости, для которой принимаются кинематические гипотезы ломаной линии. Постановка задачи и ее решение проводятся в цилиндрической системе координат  $r, \varphi, z$ , связанной со срединной