


НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

ИМ. Н.С. ПОЛЯКОВА

ГЕ  ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА
GE TECHNICAL MECHANICS

МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ВЫПУСК 75

Днепропетровск

2008

УДК 622.002.5-762:678.001.04

Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 75. – 271 с.

У збірнику представлені результати наукових досліджень в галузі динаміки та міцності, механіки еластомерів, безпеки складних технічних систем та проблем стійкого розвитку.

Для наукових працівників, аспірантів і студентів старших курсів.

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор, академик НАН Украины А.Ф. Булат (ответственный редактор), д-р техн. наук, профессор, чл.-корр. НАН Украины Э.И. Ефремов (зам. отв. редактора), д-р техн. наук В.В. Виноградов (зам. отв. редактора), д-р техн. наук Б.А. Блюсс, д-р техн. наук, профессор Л.М. Васильев, д-р техн. наук А.И. Волошин, д-р техн. наук, профессор В.И. Дырда, д-р геол.-мин. наук В.В. Лукинов, д-р техн. наук В.П. Надутый, д-р техн. наук В.Г. Перепелица, д-р техн. наук А.С. Пригунов, д-р техн. наук К.К. Софийский, д-р техн. наук, профессор Б.М. Усаченко, д-р техн. наук, профессор М.С. Четверик

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Франчук В.П.
д-р техн. наук, проф. Виноградов В.В.

Ответственный за выпуск д-р техн. наук, проф. Дырда В.И.

Адрес редколлегии:

49005, ГСП, Днепропетровск-5, ул. Симферопольская, 2а
Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

Утверждено к печати Ученым Советом

Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины
(протокол № 3 от 21 марта 2008 г.)

ISSN 1607-4556

© ИГТМ НАН Украины, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Кобец А.С., Дырда В.И., Гордисенко Н.А., Демидов А.А., Ищенко Т.Д. Некоторые методы обеспечения безопасности сложных динамических систем	3
Кобец А.С., Науменко Н.Н., Дырда В.И. Напряженно-деформированное состояние резинометаллического блока при сжатии статической нагрузкой	68
Кобец А.С., Бутенко В.Г., Дырда В.И., Деркач А.Д., Хлыстун А. Влияние этанола топливной смеси на характеристики бензинового двигателя	74
Армашов Ю.В., Дырда В.И., Черній О.А. Підвищення експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів за рахунок підресорювання передніх коліс	79
Охмат П.К., Мельниченко В.И., Клименко О.В. Показники роботи трактора Т-150К з дизелем СМД-62 з серійним паливним насосом і універсальним регулятором	91
Козуб Ю.Г. Динамические задачи механики разрушения конструкций из эластомеров	97
Козуб Г.А. Температурные поля в шинах	102
Лисица Н.И., Заболотная Е.Ю., Агальцов Г.Н., Максимович В.Г., Доброгорский В.Н., Литвин А.И. К вопросу виброизоляции фундаментов под кузнечные молоты	108
Дырда В.И., Маркелов А.Е., Решевская Е.С., Тархова В.М., Твердохлеб Т.Е., Гончаренко А.В. Исследование резиновой футеровки мельниц при ударных нагрузках	114
Рябцева Г.Н., Ващенко Ю.Н. Исследование влияния модифицирующих добавок на свойства резин	121
Волошин А.И., Рябцев О.В., Процак С.Ю. К вопросу расчета нормальных нагрузок на слои пород надугольной толщи при ведении добычных работ	126
Надутьый В.П., Эрперт А.М., Гринюк Т.Ю. Определение закона распределения и характера зависимости выхода измельченной породы и самородной меди от класса крупности	137
Маркелов А.Е. Исследование абразивно-усталостного износа резиновых футеровок барабанных рудоизмельчительных мельниц	142
Бойко М.М., Зайцев О.І. Визначення залежності насипної щільності від розміру часток за допомогою фрактального аналізу	163
Бойко И.Г., Русалев А.М. Теоретическое исследование равновесия и движения сыпучей среды в бункере с кольцевым выпускным отверстием	167
Бондаренко Л.Н., Дырда В.И., Овчаренко Ю.М., Терещенко М.В. Опір обертанню малоопорних поворотних пристроїв	177
Бутаков Б.И., Пастушенко С.И. Разработка способа обкатывания роликами стальных деталей с целью повышения их контактной прочности	181
Гаврильченко А.С., Волик Б.А. Моделирование укладки почвенных агрегатов на дно борозды после схода с поверхности лемеха	189
Дырда В.И., Бондаренко Л.Н., Овчаренко Ю.Н., Терещенко Н.В. К вопросу теории амортизаторов трения качения	196
Зибайло С.М., Ебiч Ю.Р., Смелянов Ю.В. Порівняльна оцінка експлуатаційних властивостей гумометалевих з'єднань на основі гум різної полярності	200
Кіряцев Л.О., Романюха І.О. Подрібнюючий механізм ковзного різання	204

Козаченко О.В., Блезнюк О.В., Басенко Л.І. Методи зменшення втрат робочої рідини у гідроприводах сільськогосподарських машин.....	208
Кухаренко П.М., Улексін В.О., Бабич О.С., Яцук В.М. Формування коректорної ділянки характеристики газодизеля.....	214
Кухаренко П.М., Улексін В.О., Мельниченко В.І., Яцук В.М. Обґрунтування раціонального складу суміші при використанні рослинних олій в дизельних двигунах.....	219
Пугач А.Н. Методи и способы повышения износостойкости почвообрабатывающих рабочих органов.....	222
Улексін В.О., Бойко В.Б., Брижа М.Р. Дослідження гідропневматичного висівного апарата.....	228
Харченко Б.Г. Концепція розвитку технічного сервісу в АПК України та її реалізація у сучасних умовах.....	233
Хомик Н.І., Левенець В.Б., Дудін О.В. Моделювання взаємодії силкого матеріалу із шнековим конвєсром під час змішування.....	238
Шимчук О.П. Дослідження переміщення сапропелю у гвинтовому конвєсрі.....	243
Щур Т.Г., Бойко І.Г. Математична модель руху сипучих матеріалів в відцентровому дозаторі.....	246
Березняк О.О., Лукашенко М.І. Магнітогідродинамічна сепарація матеріалів в розчині.....	251
Дудін В.Ю. Фази розподілу повітря ротаційного вакуумного насоса з тангенційним розміщенням пластин.....	254
Колончук М.В., Кольга Д.Ф., Павленко С.І., Дудін В.Ю. Обґрунтування окремих параметрів пластинчатих вакуумних насосів.....	258

Національна Академія Наук України
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова

Наукове видання
ГЕОТЕХНІЧНА МЕХАНІКА
Міжвідомчий збірник наукових праць
Заснований у 1993 р.
Випуск 75 (російською мовою)

Відповідальний за випуск *В.І. Дирда*
Комп'ютерна верстка та підготовка макету ТОВ «Елвіта»
Підписано до друку 11.03.2008 р.
Формат 60×84/16. Умовн. друк. арк. 25
Тираж 300 примірників. Віддруковано «Авантаж»
49000, м. Дніпропетровськ, вул. Комсомольська, 22/6

ВГ на тех-
сья вплив
ра.

для ПНВТ
існі харак-
кимному і
их насосів
режимі мі-
мм³/цикл
мм³/цикл

Д-62 з до-
нальному
ективного
йкої кіль-
ідпрацьо-

трактора
у режимі
видкисній
ів роботи
Н (34,8-
2%) до
Вт (26,4-
-10,2%)
ється від

Т-150К +
о 300 га.
ром зме-
и на 1,3-
імі на П
видкисній
у на 17-

показників
аук. праць
к, 2005. -

ра Т-150К
Вып. 16. -

нім пали-
рномор'я»

- Миколаївського державного аграрного університету. Спеціальний випуск. 2(41). - 2007. - С. 119-124.
4. Головчук А.Ф. Улучшение топливной экономичности и снижение дымности тракторного дизеля с турбонаддувом: Дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Киевск. авт. дор. ин. - К., 1981. - 302 с.
 5. Мельниченко В.И. Улучшение топливной экономичности и снижение дымности тракторного дизеля применением двухрежимно-всережимного регулятора: Дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Днепрод. гос. агр. ун. - Днепродзержинск, 1991. - 289 с.
 6. Исследование оптимальных режимов работы машинно-тракторных агрегатов: Отчёт о НИР (заключительный) / Родичев В.А., Соловейчик А.Г., Шевцов В.Г., Головчук А.Ф., Мельниченко В.И. и др. / ВИМ; № Гр. 81069704; Инв. № 0284. 0019154. - М., 1983. - 155 с.
 7. Показники роботи трактора Т-150К з дизелем СМД-62 з серійним паливним насосом і універсальним регулятором / Мельниченко В.І., Лифенко Р.А., Головченко С.С., Чуйко А.Ю. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. - Дніпропетровськ, 2006. - Вип. 63. - С. 217-221.
 8. Мельниченко В.І. Показники роботи трактора Т-150К з дизелем СМД-62 з експлуатаційними регулюваннями серійного паливного насоса. - Дніпропетровськ: ДДАУ, кафедра «Трактори та автомобілі», 2005. - 52 с.

УДК 539.3: 620.1

Козуб Ю.Г.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЭЛАСТОМЕРОВ

Представлено методику розв'язання задачі руйнування еластомерів. Критерії руйнування обчислюються на основі енергетичних інтегралів.

DYNAMIC PROBLEMS OF FRACTURE MECHANICS OF CONSTRUCTION FROM ELASTOMERS

The technique of the decision of problems of destruction of elastomers is submitted. Criteria of destruction are calculated on the basis of power integrals.

Постановка проблемы. В настоящее время широкое применение в технике находят полимерные материалы, в том числе эластомеры. Использование новых материалов позволяет снизить материалоемкость конструкций, снизить их себестоимость. Особенно широко используются эластомерные материалы при изготовлении шарниров, уплотнительной арматуры, муфт, демпферов и т.д. Зачастую конструкция представляет собой комбинацию резиновых и металлических элементов. Как правило, в таких конструкциях основную нагрузку несет эластомер. Для обеспечения надежности конструкции на этапе проектирования необходим достоверный расчет. Эластомеры относятся к гибкоцепным линейным полимерам. Температура стеклования эластомеров существенно ниже 0°C. Основными свойствами эластомеров являются их высокоэластичность, слабая сжимаемость, вязкоупругость. Изучению свойств эластомеров посвящены работы [1-5].

Обычно эластомерные элементы конструкций работают в условиях динамического нагружения, причем чаще всего циклического. В этих условиях ярко проявляются демпфирующие свойства эластомеров. Резиновые элементы конструкций сохраняют свои технологические свойства при наличии различного

рода дефектов типа трещин. В работах В.Н. Потураева, В.И. Дырды [3, 4] приведен значительный объем экспериментальных данных исследования процессов разрушения эластомеров.

Цель работы. Основной целью данной работы является разработка методики решения задачи динамического деформирования эластомерных элементов конструкций с трещинами.

Материалы исследования. Для материалов, обладающих затухающей памятью, уравнения вязкоупругости основываются на определяющих уравнениях наследственного типа, в которых компоненты напряжений и деформаций связаны между собой зависимостью, имеющей временной характер. Вид этой зависимости определяется видом реологической модели тела.

В общем случае связь между напряжениями и деформациями принимается в виде интегральных уравнений состояния записанных с помощью наследственной теории Больцмана-Вольтерра [5]

$$\sigma_y(t) = E \left[\varepsilon_y(t) - \int_0^t K(t-\tau) \varepsilon_y(\tau) d\tau \right], \quad (1)$$

где $K(t-\tau)$ – разностное ядро релаксации эластомера.

Обычно используются разностные ядра, удовлетворяющие затухающей памяти, при этом используется принцип суперпозиции деформаций от сил, действующих в данный момент времени, и всех предшествующих сил, влияние которых тем меньше, чем больше прошло времени с момента их действия.

Для оценки демпфирующих свойств эластомера необходимо определить его реологические параметры. При оценке релаксационных процессов обычно следует оценить подвижность кинетических единиц материала. В качестве кинетических единиц в релаксационных процессах выступают мелкомасштабные элементы полимера, сегменты макромолекул, частицы активного наполнителя, диполь-дипольные локальные поперечные связи, поперечные химические связи и т.д. [1, 2]. Каждый тип кинетических единиц характеризуется своими размерами, подвижностью и своим наиболее вероятным временем релаксации. Активация движения соответствующих элементов полимера при циклическом нагружении очевидно напрямую зависит от величины диссипированной энергии и частоты нагружения, что вполне согласуется с основными результатами авторов [2]. Таким образом, при построении уравнений движения эластомерного элемента конструкции следует учитывать частотную зависимость коэффициента диссипации.

Одним из наиболее эффективных методов решения задач механики деформируемых твердых тел является метод конечных элементов.

Конечно-элементные уравнения движения в линейно-упругом случае можно представить в виде [6]:

$$Ku + C\dot{u} + M\ddot{u} = R(t), \quad (2)$$

где K – матрица жесткости;

C – матрица демпфирования;

M – матрица масс;

Динамические задачи механики разрушения конструкций из эластомеров

R – вектор узловых нагрузок;
 u – вектор узловых перемещений.

При построении матрицы жесткости используется тройная аппроксимация полей перемещений, деформаций и функции изменения объема на основе моментной схемы конечных элементов [5]. Матрица масс строится с помощью интерполяционных функций формы конечного элемента. Матрица демпфирования для изотропного тела строится аналогично матрице масс.

Система уравнений движения может быть решена либо путем интегрирования по времени, либо с помощью суперпозиции форм собственных колебаний.

В задачах циклического деформирования конструкции предпочтительным является второй подход. Поскольку собственные значения и формы собственных колебаний демпфирующей и недемпфирующей систем различаются незначительно, то для расчета собственных частот и форм собственных колебаний можно ограничиться рассмотрением недемпфирующей системы

$$(K - \omega^2 M)u = 0. \quad (3)$$

Уравнение (3) представляет собой полную проблему собственных значений. Решение этой проблемы может быть получено как точными, так и численными методами.

Собственные формы колебаний удовлетворяют условиям:

$$\begin{aligned} u_{0i}^T K u_{0j} &= \begin{cases} \omega_i^2 & \text{при } i = j, \\ 0 & \text{при } i \neq j; \end{cases} \\ u_{0i}^T M u_{0j} &= \begin{cases} 1 & \text{при } i = j, \\ 0 & \text{при } i \neq j; \end{cases} \\ u_{0i}^T C u_{0j} &= \begin{cases} 2\omega_i \beta_i & \text{при } i = j, \\ 0 & \text{при } i \neq j. \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

Перемещения можно представить в виде линейного разложения по собственным формам колебаний

$$u = \alpha_i u_{0i}, \quad (5)$$

где u_{0i} – собственные формы колебаний;

$\alpha_i = \alpha_i(t)$ – коэффициенты разложения.

При нормированных векторах собственных колебаний коэффициенты разложения α_i удовлетворяют системе обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\omega_i^2 \alpha_i + 2\omega_i \beta_i \dot{\alpha}_i + \ddot{\alpha}_i = \{u_{0i}\}^T \{R\} \quad (\text{по } i \text{ не суммировать}). \quad (6)$$

Зачастую для анализа собственных колебаний достаточно оценить вклад колебаний низших частот. В этом случае проблему собственных значений можно решить приближенными итерационными методами.

Для моделирования процесса трещинообразования принцип виртуальной работы, определяющий движение твердого тела между моментами времени t_1 и t_2 , в предположении о неизменности объема и площади поверхности тела с учетом роста трещины определяется следующим образом [6]:

$$\int_V [(\sigma_y^2 + \sigma_y^1) \delta \varepsilon_y^2 + \rho (\ddot{u}_i^2 + \dot{u}_i^1) \delta u_i^2] dV - \int_S (q_i^2 + q_i^1) \delta u_i^2 dS - \int_{\Delta S_T} \sigma_y^1 n_j^1 \delta u_j^2 dS = 0, \quad (7)$$

где ΔS_T – изменение площади поверхности трещины, индексы 1 и 2 соответственно относятся к соответствующим моментам времени.

Для численного решения задачи механики разрушения на основе метода конечных элементов можно воспользоваться методом стационарной сетки. Сингулярные поля деформаций в окрестности вершины трещины моделируются с помощью специальных конечных элементов [7].

Начало движения трещины определяется из условия

$$K(t) = K_d, \quad (8)$$

где $K(t)$ – коэффициент интенсивности напряжений (КИН) в окрестности трещины;

K_d – динамическая характеристика стартовой вязкости разрушения.

Надежную оценку КИН можно получить, воспользовавшись не зависящими от пути интегралами:

$$J_k = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{\Gamma_\varepsilon} [(W + K)n_k - T_i n_{i,k}] ds = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left[\int_{\Gamma+\Gamma_\varepsilon} [(W + K)n_k - T_i n_{i,k}] ds + \int_{V_\varepsilon} [\rho \ddot{u}_i u_{i,k} - \rho \dot{u}_i \dot{u}_{i,k}] dv \right], \quad (9)$$

где W – плотность энергии деформации;

$K = 1/2 \rho \dot{u}_i \dot{u}_i$ – плотность кинетической энергии;

$T_i = \sigma_{ij} n_j$ – поверхностные силы.

Для вычисления компонент J_k в системе координат трещины можно использовать метод эквивалентного объемного интегрирования [6, 7].

Для случая, когда трещина в условиях динамического нагружения не растет, величина J -интеграла непосредственно связана с удельной выделенной энергией стартовой трещины.

Таким образом, анализ напряженно-деформированного состояния в окрестности вершины трещины при нестационарной нагрузке позволяет оценить условия прорастания трещины. Для оценки процесса движения вершины трещины необходимо непосредственно интегрировать уравнение (2), что, в свою очередь, требует развития методик дискретизации задачи по времени. В этом случае используют явные или неявные разностные схемы.

Задача 1. Определение низших частот заземленной по одной грани квадратной пластины с краевой сквозной трещиной (рис. 1). В табл. 1 приведены результаты расчета в виде безразмерных коэффициентов

$$k_i = \frac{\omega_i a^2 \sqrt{\rho h}}{\sqrt{Dg}},$$

где a, h – размеры пластины;
 D – цилиндрическая жесткость;
 g – ускорение свободного падения;
 ρ – плотность материала;
 l – длина трещины.

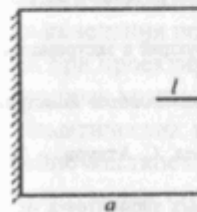


Рис. 1

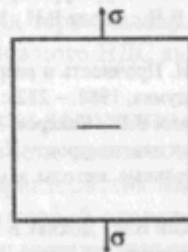


Рис. 2

Таблица 1 – Относительные коэффициенты k_i

Λk_i	k_0	k_1	k_2
$l=0$	36,3	73,9	109,1
$l=0,02a$	36,95	74,71	109,81
$l=0,04a$	37,36	75,53	110,89
$l=0,06a$	37,82	75,92	111,79
$l=0,08a$	38,27	76,48	112,92
$l=0,1a$	38,79	77,36	113,78

Задача 2. Растяжение квадратной плиты с центральной трещиной, подверженной стационарному растягивающему нагружению, при котором начинает развиваться трещина (рис. 2). Начальные размеры трещины $l_0=0,02a$.

В табл. 2 приведены относительные значения J -интеграла при различной длине движущейся трещины.

Таблица 2 – Относительные значения контурных интегралов

l/l_0	1	1,25	1,5	1,75	1,1	1,5	1,2
$J/J(l_0)$	1	0,897	0,834	0,776	0,753	0,711	0,682
$J/J(l_0)$ [6]	1	0,921	0,862	0,814	0,783	0,745	0,692

Результаты, получены с помощью подсистемы ДИНЭМА в рамках вычислительного комплекса «МИРЕЛА+» [8], удовлетворительно совпадают с результатами, представленными в работе [6].

Выводы. На основании решения задачи динамического разгита трещины проведен анализ энергетического критерия разрушения для развивающейся трещины. Для решения задачи динамического деформирования конструкции трещиной разработан конечноэлементный подход, который базируется на решении искомого решения по собственным формам колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартенев Г.М., Зеленов Ю.В. Физика и механика полимеров. – М.: Высш. школа, 1983. – 391 с.
2. Бартенев Г.М. Структура и релаксационные свойства эластомеров. – М.: Химия, 1979. – 288 с.
3. Потураев В.Н., Дырда В.И., Круш И.И. Прикладная механика резины. – К.: Наук. думка, 1988. – 260 с.
4. Дырда В.И. Прочность и разрушение эластомерных конструкций в экстремальных условиях. – К.: Наук. думка, 1988. – 232 с.
5. Киричевский В.В., Сахаров А.С. Нелинейные задачи термомеханики конструкций из сжимаемых эластомеров. – К.: Будівельник, 1992. – 216 с.
6. Вычислительные методы в механике разрушения / Под ред. С. Атлури. – М.: Мир, 1990. – 392 с.
7. Киричевский В.В., Дохняк Б.М., Козуб Ю.Г. Метод конечных элементов в механике разрушения эластомеров. – К.: Наук. думка, 1998. – 200 с.
8. Метод конечных элементов в вычислительном комплексе «МИРЕЛА+» / Под общ. ред. Киричевского В.В. – К.: Наук. думка, 2005. – 403 с.

УДК 539.3:620.1

Козуб Г.А.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ В ШИНАХ

Запропонована модель розрахунку температурних полів саморозігріву великогабаритних шин.

THE TEMPERATURE FIELDS ARE IN TIRES

The model for calculation a temperature fields to self-heating of large-sized tires is offered.

Введение. В народном хозяйстве Украины крупногабаритные шины (КГШ) используются на транспортных и вскрышных работах горно-обогатительных комбинатов при добыче открытым способом руды и угля. В целом в мире около 60 % горной массы перевозится автосамосвалами, оснащенными КГШ и сверхкрупногабаритными шинами СКГШ. КГШ относятся к классу внедорожных шин отличающихся от других шин такими особенностями, как многослойность, большой вес и высокая единичная стоимость (карьерные, строительные, дорожные КГШ и СКГШ).

Широкое применение автосамосвалов большой грузоподъемности привело к необходимости создания и усовершенствования крупногабаритных шин повышенной эксплуатационной производительности.

Связанные термомеханические поля определяют характер износа и долговечность крупногабаритных и грузовых шин. Наиболее частыми случаями отрыва КГШ и грузовых шин являются тепловые разрушения. Поля температур, воз-

никающие в шине при качении, вызывают деструкцию связующего материала резинокорда, отслоение фракций резины, расслоение каркаса.

В настоящее время в отечественной практике конструирования шин практически отсутствуют методы расчета термомеханического поведения конструкций под воздействием термосиловых эксплуатационных нагрузках на стадии проектирования (в трехмерной постановке). Публикации зарубежных авторов по этому вопросу не выходят за рамки научных изысканий, что затрудняет использование предложенных в них теоретических положений при проектировании шин. Существующие методики используют упрощающие гипотезы при определении НДС шин [1-5]. Механические свойства резин и резинокордных композитов (РКК), являются определяющими при выборе материала для создаваемого резинотехнического изделия, работающего под термосиловыми нагрузками. Проблема поведения резин и РКК в условиях сложного НДС является одной из важнейших при проектировании шин.

Резинокордные композиты являются практически незаменимыми при изготовлении пневматических шин. С помощью слоистости достигается оптимальное соотношение жесткостных и демфирующих характеристик многих элементов виброизолирующих систем. Шина представляет собой слоистую конструкцию, состоящую из анизотропных (армированных) и изотропных слоев. Частота армирования для каждого слоя может быть различной. В реальных условиях эксплуатации происходит значительный нагрев таких конструкций. При этом существенное влияние на характер напряженно-деформированного состояния оказывает зависимость физико-механических характеристик от температуры, приводящая к существенным изменениям формы и в ряде случаев к разрушению. Решение связанной задачи деформирования шин является актуальным уже на этапе проектирования.

Цель работы. Разработка численного метода решения связанной задачи и исследование связанных термоупругих процессов в слоистых телах и средах вызванных сложными термосиловыми нагрузками.

Материалы исследования. Для построения конечно-элементной модели пневматической шины следует учесть ее основные конструктивные особенности. Каркас диагональной шины составляет ее силовую основу и выполняется из нескольких пар перекрестно армированных резинокордных слоев. Исходным материалом для корда служат вискозные и полиамидные волокна. Угол армирования меняется от точки к точке по меридиану, достигая на экваторе 45-65°, в зависимости от типа и назначения шины. Брекер, расположенный в беговой части шины, изготавливают из разреженных резинокордных слоев, собранных в пакете перекрестным образом. Под слоями брекера и нередко над ним прокладывают однородные прослойки из мягкой эластичной резины. Основное назначение брекера состоит в предохранении каркаса от механических повреждений, снижении нагрузок, передаваемых от дороги на каркаса через брекер, улучшение связи между каркасом и протектором.

Протектор представляет собой массивный слой резины и выполняется из жестких износостойчивых резин, работающих в предельно тяжелых условиях.

На боковине протектор переходит в достаточно тонкий резиновый слой, основное предназначение которого – защита каркаса от внешних повреждений. Завальцовка слоев служит для усиления борта, обеспечивающего жесткую посадку шины на обод колеса.

В настоящее время используются различные схемы описания шины, различные математические модели и алгоритмы решения задачи. Возможная степень их использования различна. В целом, можно выделить три подхода к моделированию шины применительно к потребностям процесса проектирования.

К первому подходу можно отнести модели шины в виде кольца на упругом основании, трехслойной оболочкой в зоне беговой дорожки и моноотропной оболочкой в зоне боковой стенки [1, 2].

Ко второму подходу можно отнести моделирование шины многослойной ортотропной и анизотропной [3, 4] оболочкой типа Тимошенко. При этом в работе [3] исследовано совместное влияние эффекта анизотропии и геометрической нелинейности на НДС диагональной шины, а для определения геометрии поверхности приведения были использованы сглаживающие кубические сплайны.

Неоднородность, низкая сдвиговая жесткость, анизотропия деформативных свойств, и другие специфические факторы при расчете многослойных перекрестно армированных оболочек приводит к недопустимым погрешностям искажающим напряженное состояние конструкции, особенно на границе раздела слоев. Исследование эффекта анизотропии сопряжено с большими трудностями, даже в задачах осесимметричной деформации перекрестно армированных оболочек, так как в этом случае приходится интегрировать полную систему дифференциальных уравнений десятого порядка в теории оболочек типа Тимошенко и двенадцатого порядка в уточненной теории [3]. Шина трактуется оболочкой, составленной из двух пакетов мембранных слоев, один из которых, моделирует каркас, а другой, расположенный в беговой части, – брекер. Так как в беговой части шины используется мощный брекер, это приводит к существенно неравномерному распределению напряжений по толщине пакета слоев, в частности в зоне окончания брекера, поэтому недостаток такой модели очевиден [5].

Вместе с тем расчет шин с малослойным металлокордным брекером показал, что кинематическая гипотеза типа Тимошенко может приводить к погрешностям, искажающим картину напряженно-деформированного состояния шины в зоне окончания брекера. Наиболее простой путь, частично устраняющий недостатки расчетной схемы шины, связан с привлечением для всего пакета в целом обобщенной кинематической гипотезы Тимошенко [4], что позволило проследить нелинейный характер распределения напряжений и деформаций по толщине шины.

Наиболее точная формулировка задачи термоупругости шины основана на применении общих пространственных уравнений состояния конструкции.

Существенное влияние на характер напряженно-деформированного состояния оказывает зависимость физико-механических характеристик от темпе-

ратуры, приводящие к существенным изменениям формы и в ряде случаев к разрушению.

Разрешающие уравнения построены на основе предположения, что матрица является линейно-упругой и изотропной с модулем упругости E_r , модулем сдвига G_r и коэффициентом Пуассона ν_r [4]. Аналогичное предположение принимается относительно армирующих волокон. Обозначим их упругие постоянные через E_c, G_c, ν_c . Коэффициент армирования μ характеризует относительное объемное содержание волокон.

Резинокордный слой можно считать трансверсально изотропным, так как насыщение армирующими волокнами достаточно частое, причем плоскость, ортогональная направлению волокон, является плоскостью изотропии. Соотношения теории упругости для такого материала имеют вид

$$C^{ijkl} = C_*^{mnpq} d_n^i d_n^j d_p^k d_p^l.$$

Упругие характеристики слоя обусловлены механическими свойствами матрицы и армирующих волокон.

При использовании связанной линейной модели тепловое и термоупругое состояние, определяется решением системы, состоящей из уравнений теплопроводности, уравнений движения, и классических уравнений

$$\lambda_{ij} T_{,ij} - \beta_{ij} T_0 \dot{\epsilon}_{ij} + w = c_e \dot{T};$$

$$C_{ijkl} u_{k,j} - \beta_{ij} T_{,j} + X_i = \rho \ddot{u}_i,$$

которые следует дополнить уравнениями совместности, граничными и начальными условиями. Алгоритм решения задачи реализован методом конечных элементов. Для моделирования термоупругого поведения резинокордной конструкции используется слоистый конечный элемент.

На основе разработанной методики [6, 7] получены результаты теплового расчета шин с повышенными техническими характеристиками.

Задача 1. Рассмотрим несколько шин типа 18.00, с наружным диаметром $D = 1,512$ м и посадочным диаметром $d = 0,634$ м, которые отличаются друг от друга соотношением высоты и ширины профиля. Основные геометрические характеристики шин различных серий приведены в табл. 1.

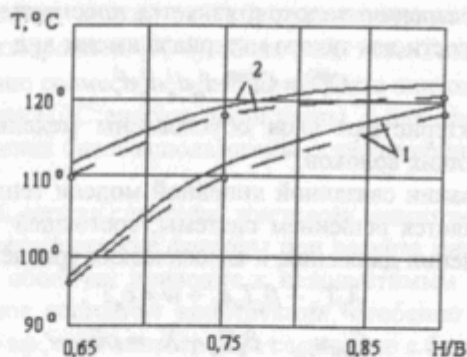
Таблица 1 – Геометрические характеристики шин типа 18.00

Наименование показателя	Серия «90»	Серия «75»	Серия «65»	
Ширина профиля B , мм	480	585	680	
Ширина беговой дорожки по хорде b , мм	390	495	590	
Соотношения	H/B	0,91	0,75	0,645
	b/B	0,81	0,84	0,86

На рис. 1 представлена зависимость температуры от отношения высоты профиля шины к ее ширине при постоянной скорости качения 25 км/ч. Анализ результатов показывает, что при одинаковой скорости качения максимальная

температура понижается с увеличением ширины профиля шины. При этом результаты удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными [8].

Задача 2. Рассмотрим шину типа 40.00-57. Исходным материалом для корда служат вискозные и полиамидные волокна, модуль упругости которых принимается равным 1,5 ГПа. Угол армирования принят равным 53° . На рис. 2-7 приведены результаты решения задачи термоупругого деформирования шины типа 40.00-57 с учетом диссипативного разогрева. Максимальный прогиб нагруженной шины при обжатии на плоскость принимается равным 0,1 м [8]. Давление воздуха внутри шины составляет 0,6 МПа. Скорость движения составляет 25 км/ч. Наиболее высокая температура разогрева шины наблюдается вблизи кромок брекера и составляет 123°C .



1 – решение при нагрузке 80 кН; 2 – решение при нагрузке 100 кН; сплошная кривая – решение МКЭ, штриховая кривая – данные [8]

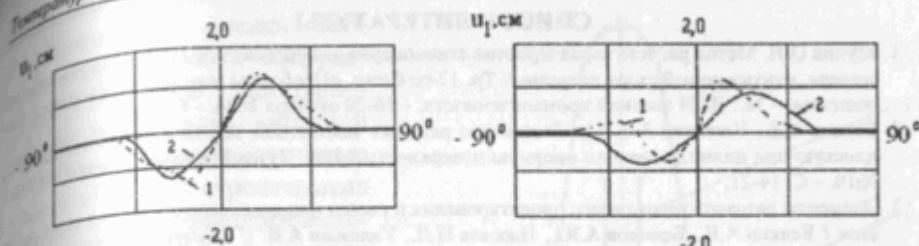
Рис. 1 – Зависимость максимальной температуры от отношения H/B шин типа 18.00 при скорости качения 25 км/ч

На рис. 2 – рис. 5 даны перемещения срединной поверхности каркаса в окружном и радиальном направлении по стенке и короне, результаты, полученные с использованием разработанной методики, удовлетворительно совпадают с результатами, приведенными в работе [8].

Зависимость максимальной температуры беговой зоны шины от скорости качения при разных нагрузках (рис. 6, рис. 7) определяет характер распределения полей температур при сложных термосиловых нагрузках.

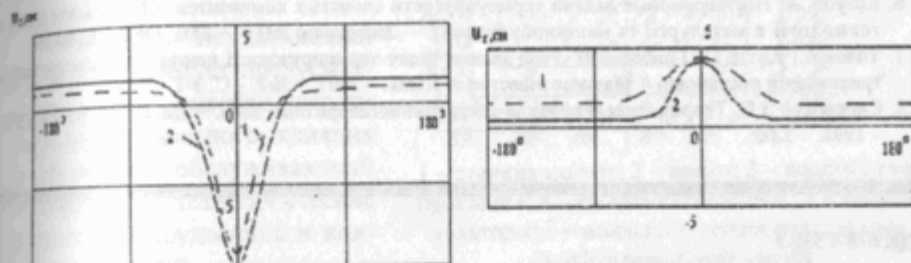
Полученные зависимости позволяют провести оценку работоспособности конструкции шины и диагностировать ее техническое состояние.

Выводы. Исследованы закономерности термомеханического поведения слоистых конструкций крупногабаритных шин. Установлено влияние ширины профиля шины на характер распределения полей температур при сложных термосиловых нагрузках. Исследованы зависимости максимальной температуры от скорости качения при различных осевых нагрузках. Реализация разработанной модели расчета ресурса шин и ее термоупругого поведения способствует созданию более рациональных конструкций на стадии проектирования.



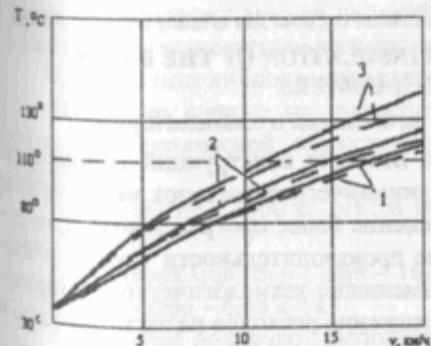
1 – результаты [8], 2 – МКЭ решение
Рис. 2 – Перемещения срединной поверхности каркаса в окружном направлении по стенке

1 – результаты [8], 2 – МКЭ решение
Рис. 3 – Перемещения срединной поверхности каркаса в окружном направлении по короне

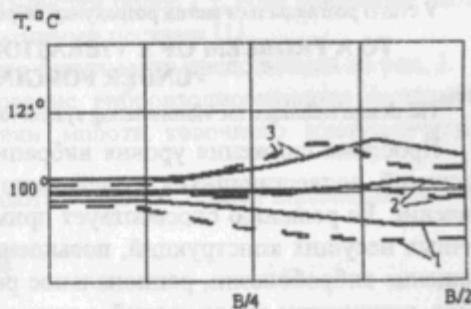


1 – результаты [8], 2 – МКЭ решение
Рис. 4 – Перемещения срединной поверхности каркаса в радиальном направлении по стенке

1 – результаты [8], 2 – МКЭ решение
Рис. 5 – Перемещения срединной поверхности каркаса в радиальном направлении по короне



1 – нагрузка 450 кН; 2 – нагрузка 535 кН; 3 – нагрузка 620 кН
Сплошная линия – решение МКЭ, штриховая – данные [8]
Рис. 6 – Зависимость максимальной температуры беговой зоны шины от скорости качения



1 – нагрузка 450 кН; 2 – нагрузка 535 кН; 3 – нагрузка 620 кН
Сплошная линия – решение МКЭ, штриховая – данные [8]
Рис. 7 – Распределение максимальных температур по ширине (B) беговой зоны шины при скорости качения 15 км/ч

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухин О.Н. Метод расчета характеристик стационарно катящейся шины с помощью кинематической модели, учитывающей силы инерции // Тр. 17-го Симп. «Проблемы шин и резинокордных композитов». – М.: НИИ шинной промышленности. – 16-20 октября 2006. – С. 39-57.
2. Белкин А.Е., Уляшкин А.В. Приближенное решение контактной задачи об обжатии шпильчатую или цилиндрическую опорную поверхность // Изв. Вузов Машиностроение. – 1992. №10. – С. 14-21.
3. Элементы автоматизированного проектирования и расчет напряженного состояния радиальной шины / Белкин А.Е., Беликов А.Ю., Нарская Н.Л., Уляшкин А.В. // Каучук и резина. – 1992. №2. – С. 11-14.
4. Григолюк Э.И., Куликов Г.М. Многослойные армированные оболочки: Расчет пневматической шины. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.
5. Ненахов А.Б., Соколов С.Л., Гальперин Л.Р. Конструирование шин с использованием современных методов // Тр. 14-го Симп. «Проблемы шин и резинокордных композитов». – М.: НИИ шинной промышленности. – 20-24 октября 2003. – С. 100-106.
6. Козуб Г.А. Нестационарные задачи термоупругости слоистых композитов // Нові матеріали та технології в металургії та машинобудуванні. — Запоріжжя: ЗНТУ. — 2006. — № 2. — С. 98-101.
7. Толок В., Козуб Г., Грибанов В. Розв'язання задач термопружності шаруватих конструкцій тривимірній постановці // Машинознавство. – Львів. – 2007. – №1. – С. 3-7.
8. Скорняков Э.С. Теория моделирования сверхкрупногабаритных шин. – Диспропостроение. – 1992. – 32 с.

УДК 678.4:539.3

Лисица Н.И., Заболотная Е.Ю., Агальцов Г.Н., Максимович В.Г., Доброгорский В.Н., Литвин

К ВОПРОСУ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ФУНДАМЕНТОВ ПОД КУЗНЕЧНЫЕ МОЛОТЫ

У статті розглядається метод розрахунку віброзахисної системи для штампувального молота.

TO A PROBLEM OF A VIBRATION INSULATION OF THE BASES UNDER FORGING HAMMERS

The design technique for vibroisolating system for the die hammer is considered in paper.

Проблема снижения уровня вибраций несущих конструкций зданий и сооружений, подвергающихся воздействию динамических нагрузок имеет важное значение. Ее решению способствует применение более прогрессивных и экономичных несущих конструкций, повышение производительности труда, предотвращение виброболезни, рациональное размещение технологического оборудования, сокращение числа аварий, а также снижение расходов на эксплуатацию, ремонт зданий и сооружений.

Одним из наиболее эффективных средств борьбы с вибрациями зданий и сооружений является виброизоляция. Она широко применяется для уменьшения динамических воздействий от машин, передаваемых на поддерживающие конструкции, для снижения уровня вибраций приборов и прецизионных машин, вызываемых колебаниями поддерживающих конструкций, а также зданий и сооружений в колебаниях основания. Виброизоляция позволяет снизить уровень колебаний рабочих мест и, следовательно, устранить вредное влияние вибраций на людей.