

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартнев Г.М., Зеленеv Ю.В. Физика и механика полимеров. – М.: Высш. школа, 1983. – 391 с.
2. Бартнев 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, 1980. – 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 слабо-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 «МРЕЛА+» / 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, строительно-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 отказа 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 демпфирующих 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, улучшения связи между каркасом и протектором.

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

На боковине протектор переходит в достаточно тонкий резиновый слой, основное предназначение которого – защита каркаса от внешних повреждений. Заворот 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

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

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

$$\begin{aligned} \lambda_{ij} T_{,ij} - \beta_{ij} T_0 \dot{\epsilon}_{ij} + w &= c_e \dot{T}; \\ C_{ijkl} u_{k,lj} - \beta_{ij} T_{,j} + X_i &= \rho \ddot{u}_i, \end{aligned}$$

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.

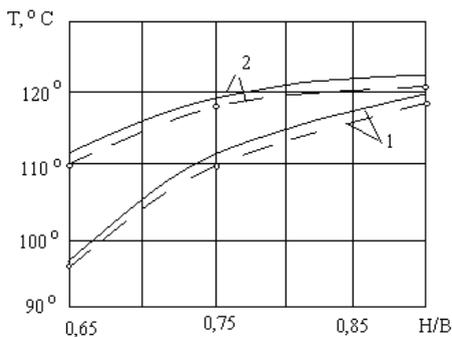
Таблица 1 – Геометрические характеристики шин типа 18.00

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 b/B	0,91 0,81	0,75 0,84	0,645 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 – рис. 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]

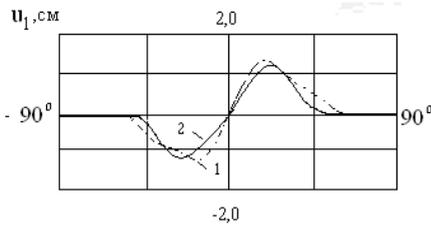
Рис. 1 – Зависимость максимальной температуры от отношения H/B шин типа 18.00 при скорости качения 25 км/ч

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].

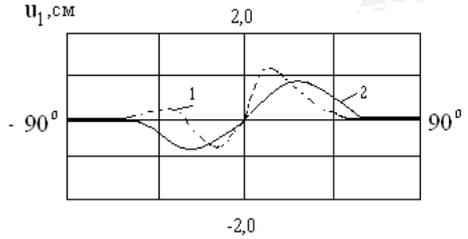
Зависимость максимальной температуры беговой зоны шины от скорости качения при разных нагрузках (рис. 6, рис. 7) определяет характер распределения полей температур при сложных термосиловых нагрузках.

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

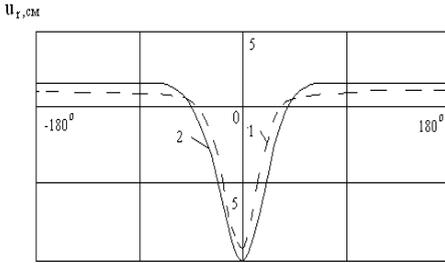
Выводы. Исследованы закономерности термомеханического поведения слоистых конструкции крупногабаритных шин. Установлено влияние ширины профиля шины на характер распределения полей температур при сложных термосиловых нагрузках. Исследованы зависимости максимальной температуры от скорости качения при различных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



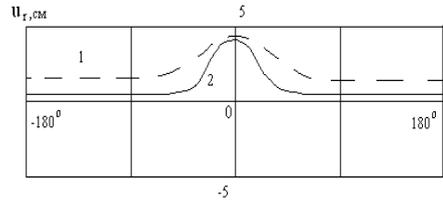
1 – результаты [8], 2 – МКЭ решение
 Рис. 2 – Перемещения срединной поверхности каркаса в окружном направлении по стенке



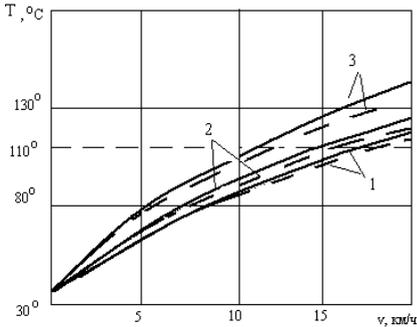
1 – результаты [8], 2 – МКЭ решение
 Рис. 3 – Перемещения срединной поверхности каркаса в окружном направлении по короне



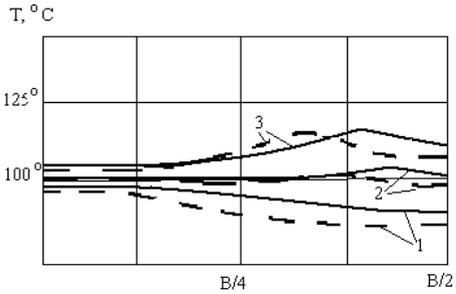
1 – результаты [8], 2 – МКЭ решение
 Рис. 4 – Перемещения срединной поверхности каркаса в радиальном направлении по короне



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



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 кольцевой 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 шины на плоскую или цилиндрическую опорную поверхность // Изв. Вузov Машиностроение. – 1993. – №10. – С. 14-21.
3. Элементы автоматизированного проектирования и расчет напряженного состояния радиальных шин / Белкин А.Е., Беликов А.Ю., Нарская Н.Л., Уляшкин А.В. // Каучук и резина. – 1993. – №2. – С. 11-14.
4. Григолюк Э.И., Куликов Г.М. Многослойные армированные оболочки: Расчет пневматических шин. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.
5. Ненахов А.Б., Соколов С.Л., Гальперин Л.Р. Конструирование шин с использованием расчетных 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 і технології в металургії та машинобудуванні. — Запоріжжя: ЗНТУ. – 2006. – № 2. – С. 98-100.
7. Толок В., Козуб Г., Грибанов В. Розв'язання задач термопружності шаруватих конструкцій у тривимірній постановці // Машинознавство. – Львів. – 2007. – №1. – С. 3-7.
8. Скорняков Э.С. Теория моделирования сверхкрупногабаритных шин. – Днепропетровск, ДГУ. – 1992. – 32 с.

УДК 678.4:539.3

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**

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 и 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 при колебаниях основания. Виброизоляция позволяет снизить уровень колебаний рабочих мест и, следовательно, устранить вредное влияние вибраций на людей.