

ТЕРМОМЕХНИКА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН

Представлено методику розв'язання зв'язаної задачі термопружності для багат шарової резинокордної конструкції методом скінчених елементів.

THERMOMECHANICS OF HEAVY-DUTY TYRES

A method decision of the linked task of thermoelasticity for a multi-layered rubber-cord construction the method of eventual elements is presented.

Введение. На сегодняшний день на открытых горных работах, на горно-рудных карьерах используют в основном карьерные автосамосвалы большой грузоподъемности, адаптированные к различным условиям бездорожья, что приводит к необходимости создания и усовершенствования крупногабаритных шин (КГШ) повышенной эксплуатационной производительности.

Проблема создания КГШ с высокими технико-экономическими показателями требует тщательного изучения их прочности на этапе проведения проектных работ. Высокая стоимость испытаний грузовых шин, их длительность, значительные габариты конструкции, недостатки и несовершенство экспериментального оборудования, обуславливают необходимость создания новых и дальнейшего усовершенствования существующих методик, с помощью которых можно в эксплуатационных условиях прогнозировать поведение шины и оценить степень ее дальнейшей работоспособности.

При проектировании новых перспективных моделей важное место в практической работе занимает исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) шин, подверженных локальным эксплуатационным нагрузкам. Решение таких задач не может осуществляться без ясного представления о характере распределения усилий в нитях корда и об особенностях деформирования наиболее ответственных элементов шины при термосиловых воздействиях. Усталостные разрушения резин и композитов, являются основной причиной, ограничивающей срок службы шин и других резинотехнических изделий, работающих в условиях многократных циклических нагрузок. Это не позволяет реализовать ресурс шины по износостойкости протектора и делает их непригодными для последующего восстановительного ремонта. При изготовлении шины также возможно появление внутренних дефектов, увеличивающихся в процессе эксплуатации, что в результате служит причиной ее внезапного разрушения. Тепло при работе шины выделяется в результате внутреннего трения в материале шины, трения между частицами воздуха в камере, а также трения в контакте с дорогой. Процессы тепловыделения при работе автомобильной шины исследовались в работах [1-6]. Основным недостатком существующих моделей является использование упрощающих гипотез о напряженно-деформированном состоянии шины.

Цель работы. Основной целью данной работы является разработка эффективной методики моделирования процессов деформирования и теплообразования в пневматических шинах в трехмерной постановке.

Материалы исследования. Температура окружающего воздуха и дороги, их тепловые характеристики, тип дорожного покрытия и влажность опорной поверхности, то есть условия эксплуатации влияют на процессы тепловыделения и теплообмена в шинах. Но эти факторы составляют случайный внешний фон, который в равной мере определяет термонапряженное состояние шин любой конструкции и их различного технического состояния, а потому в данной работе не учитываются.

Следует отметить, что крупногабаритные шины подвержены значительным механическим повреждениям, это приводит к тепловым отслоениям из-за появления разрушений в подканавочной части протектора. Локальное повреждение беговой части протектора вызывает образование дефекта в подканавочном слое плечевой зоны, что ведет к процессу отслоения. В результате трения по месту дефекта, развивается еще более высокая температура, которая приводит к термомеханической деструкции резины и отслоениям.

Значительную роль в динамике тепловых процессов шины имеют ее эксплуатационные параметры: внутреннее давление, вертикальная нагрузка, скорость. Например, по мере нагрева шины в процессе движения давление воздуха в ней повышается, а сопротивление качению уменьшается.

Определяющее влияние на количество выделяемой, рассеиваемой и, в небольшой степени, поглощаемой тепловой энергии оказывает конструкция шины. Так, сопротивление движению колеса и, соответственно, выделение тепла возрастает с увеличением толщины протектора шины [4]. На твердых гладких покрытиях дорог шестислойные шины преобразуют в тепло и рассеивают примерно на 5 % механической энергии больше, чем трехслойные [4]. В местах профиля шины, где больше массив резины и больше деформации, тепловыделение увеличивается [6].

Анизотропия деформативных свойств, низкая сдвиговая жесткость, неоднородность 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



Рис. 1 – Схема решения связанной задачи термоупругости

десятого порядка в теории оболочек типа Тимошенко и двенадцатого порядка в уточненной теории [7]. Учитывая сложность связанной термовязкоупругой модели работы шины наиболее корректным способом ее решения представляется метод последовательных приближений (рис. 1), основанный на методе конечных элементов (МКЭ).

Рассмотрим процесс определения температуры диссипативного разогрева (саморазогрева) конструкций из эластомеров как решение связанной задачи термовязкоупругости для установившегося режима циклического деформирования и теплообмена с окружающей средой.

Задачу упругости в конечноэлементной формулировке можно записать в виде:

$$[K^{ij}]\{u_i\} = \{P^j\}, \quad (1)$$

где вектор правой части $\{P^j\}$ определяется по матрице жесткости $[K^{ij}]$ и граничным условиям в виде перемещений на поверхности КЭ.

Для определения мощности внутренних источников теплообразования необходимо определить величину рассеянной энергии за цикл нагружения. В общем случае удельная величина рассеянной энергии равна сумме потерь энергии в армирующем волокне и связующем с учетом их объемного содержания

$$\Delta W = \mu \Delta W_c + (1 - \mu) \Delta W_r, \quad (2)$$

где μ – объемное содержание армирующего материала.

Использование простейших гипотез об однородности поля перемещений в направлении армирования и однородности поля обобщенных сил для сдвиговых напряжений и напряжений, нормальных к волокнам, позволяет вычислять мощность внутренних источников теплообразования как осредненную величину для k -го слоя, равную диссипированной энергии:

$$w_0^{(k)} = \Delta W^{(k)} = [\sigma^{(k)}]^T [\Psi_{(k)}^O] [\varepsilon^{(k)}], \quad (3)$$

где $[\sigma^{(k)}]$, $[\varepsilon^{(k)}]$ – тензор напряжений;

$[\Psi_k^O]$ – тензор упругодиссипативных характеристик композита в системе координат армирования слоя.

Для определения температурных полей в момент наступления теплового равновесия между конструкцией и окружающей средой необходимо решить задачу теплопроводности. Уравнение стационарной теплопроводности для анизотропного тела можно представить в виде

$$\iiint_V \lambda^{ij} T_{,i} T_{,j} g_{ij} dV + \iiint_V w_0 T dV + \iint_S [q + h(T - \theta)] T dS = 0, \quad (4)$$

где λ^{ij} – тензор теплопроводности;

q – интенсивность тепловых потоков;

h – коэффициент теплопередачи;

θ – температура окружающей среды.

Из решения задачи стационарной теплопроводности (4) определяется поле температур $\{T\}$.

В общем случае физикомеханические характеристики материала зависят от температуры. В этом случае задача теплопроводности становится нелинейной, так как матрица $[H]$ и вектор эквивалентной тепловой нагрузки $\{R\}$ становятся зависимыми от температуры.

Система разрешающих уравнений стационарной теплопроводности с использованием метода последовательных приближений записывается в виде

$$[H(T_{(k-1)})]\{T_{(k)}\} = -\{R_{(k-1)}\}. \quad (5)$$

Итерационный процесс решения задачи продолжается до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность вычисления ε по условию

$$\left| \frac{\{T_{(k)}\} - \{T_{(k-1)}\}}{\{T_{(k)}\}} \right| \leq \varepsilon. \quad (6)$$

Для достижения заданной точности обычно достаточно двух-трех итераций.

Окончательно напряженно-деформированное состояние конструкции определяется на основе решения уравнения термоупругости при полученных температурных нагрузках.

Для построения конечно-элементной модели пневматической шины следует учесть ее основные конструктивные особенности. Каркас крупногабаритной шины составляет ее силовую основу и выполняется из нескольких десятков пар перекрестно армированных резинокордных слоев. Исходным материалом для корда служат вискозные и полиамидные волокна, модуль упругости которых принимается равным 1,5 ГПа (рис. 2). Угол армирования меняется от точки к точке по меридиану, достигая на экваторе 45-65°, в зависимости от типа и назначения шины. Для крупногабаритных шин типа 40.00-57 угол армирования принят равным 53°.

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, улучшении связи между каркасом и протектором. Частота армирования каркаса составляет 9 см⁻¹, а для брекера 7 см⁻¹.

Протектор представляет собой массивный слой резины и выполняется из жестких износостойчивых ре-

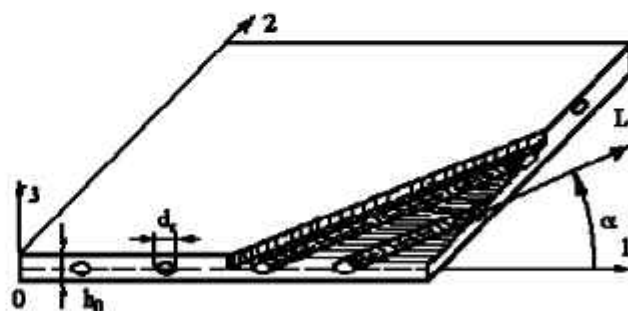


Рис. 2 – Элементарный анизотропный резинокордный слой

зин, работающих в предельно тяжелых условиях. На боковине протектор переходит в достаточно тонкий резиновый слой, основное предназначение которого – защита каркаса от внешних повреждений.

Предполагается, что поле перемещений и температур является сплошным и между слоями выполняются условия идеального теплового контакта. Для моделирования термоупругого поведения слоистой конструкции используется субпараметрический конечный элемент [8, 9] на базе вычислительного комплекса «МИРЕЛА+» [10].

На рис. 3 – рис. 6 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. 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 °С.

Выводы. Реализация разработанной модели расчета ресурса шин и ее термоупругого поведения на стадии проектирования способствует созданию более рациональных конструкций.

Предложенная методика моделирования термомеханического поведения шин позволяет исследовать напряженно-деформированное и тепловое состояние конструкций при реальных эксплуатационных режимах нагружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хромов М.К., Бруев Э.В., Грачева Э.И. О влиянии теплового состояния шин на их работоспособность // Каучук и резина. – 1971. – № 6. – С. 39-42.
2. Ларин А.Н., Школьный С.М. Применение метода конечного элемента для расчета теплового состояния шины // Вестник Харьковского государственного политехнического университета: Сб. научн. тр. – Харьков: ХГПУ, 2000. – Вып. 104. – С. 11-14.
3. Гуслицер Р.Л., Силецкий В.С., Мороз Т.Г. Зависимость теплового состояния шин для автомобиля ВАЗ 2101 от режима качения // Каучук и резина. – 1971. – № 4. – С. 41-43.
4. Третьяков О.Б., Гудков В.А., Тарновский В.Н. Трение и износ шин. – М.: Химия, 1992. – С. 176.

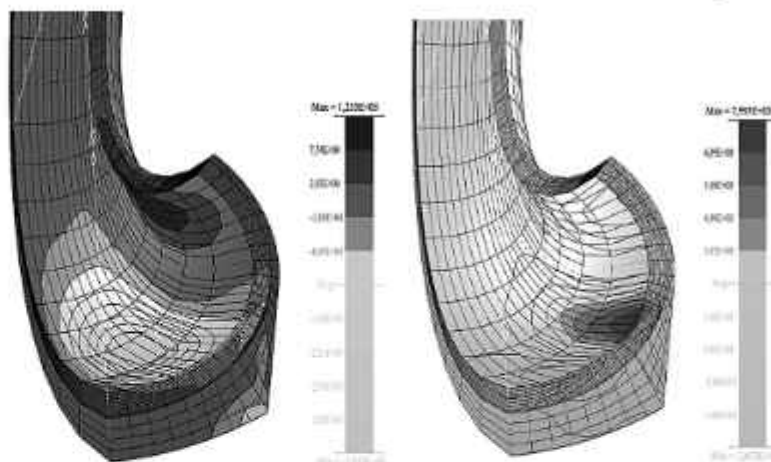


Рис. 3 – Распределение напряжений σ_1

Рис. 4 – Распределение напряжений σ_2

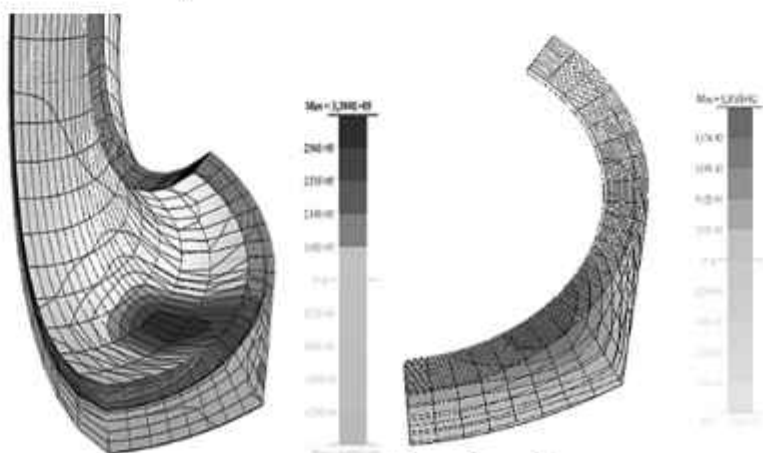


Рис. 5 – Распределение напряжений σ_3

Рис. 6 – Распределение температур

5. Перегон В.А., Ольшанский В.П., Ларин А.Н. Температурное поле боковины шины в области дефекта на ее поверхности // Автомобильный транспорт: Сб. научн. тр. – Харьков: ХГАДТУ, 2000. – Вып. 4. – С. 17-19.
6. Крайндраль П. Зависимость между теплообразованием в грузовых шинах 11.00-20 и динамическими свойствами резин // Kautschuk und Gummi. – 1966. – № 1. – С. 21-36.
7. Григолюк Э.И., Куликов Г.М. Многослойные армированные оболочки. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.
8. Толок В., Козуб Г., Грибанов В. Розв'язання задач термопружності шаруватих конструкцій у тривимірній постановці // Машинознавство. – 2007. – №1. – С. 3-7.
9. Киричевский В.В., Козуб Г.А. Матрица теплопроводности конечного элемента для решения задач термоупругости слоистых композитов // Геотехническая механика. – 2006. – Вып. 63. – С. 172-177.
10. Метод конечных элементов в вычислительном комплексе «МИРЕЛА+» / Под общ. ред. Киричевского В.В. – К.: Наук. думка, 2005. – 403 с.

УДК 622.232.72.001.57:658.386

Шевченко В.Г.

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ И ЭКОНОМИЧНОСТИ СИСТЕМЫ «МАШИНИСТ – ВЫЕМОЧНЫЙ КОМБАЙН» В ПРОЦЕССЕ ДОБЫЧИ УГЛЯ

Дано оцінку енерговитрат і економічності системи «машиніст – виїмковий комбайн» у процесі видобутку вугілля з пологих і пологопохилих пластів. Установлено залежності зміни показника її економічності функціонування від основних технологічних параметрів процесу видобутку.

ESTIMATION OF ENERGY CONSUMPTIONS AND ECONOMY OF A SYSTEM «OPERATOR – CUTTER-LOADER» DURING A COAL MINING

The estimation of energy consumptions and economy of a system «operator – cutter-loader» during a coal mining from flat seams is executed. The relations of change of economy parameter of a system «operator – cutter-loader» from the basic technological parameters of process of a mining are established.

Основной структурной единицей современной технологии комплексно-механизированной подземной угледобычи, параметры которой существенно определяют как производительность механизированных комплексов нового технического уровня (НТУ), так и безопасность и эффективность всего процесса добычи, остается система «машинист – выемочный комбайн». Поскольку человек является неотъемлемой частью технологии комплексно-механизированной угледобычи, а процесс выемки угля происходит при его непосредственном участии, параметры, характеризующие подсистему «человек», могут накладывать ограничения на эффективность работы очистного забоя. Поэтому, исследование и установление закономерностей влияния параметров горнорабочих на эффективность и экономичность функционирования системы «машинист – выемочный комбайн» в процессе добычи угля является актуальной научной задачей.

На рис. 1 приведены зависимости энерговооруженности P и удельных энергозатрат H_w отечественных и зарубежных очистных комбайнов, предназначенных для выемки угля из пологих и пологонаклонных пластов, от вынимаемой мощности пласта M , а также удельных энергозатрат от скорости подачи комбайна v_i . Анализ данных свидетельствуют, что с увеличением вынимаемой