

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ОБЪЕМНОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ СИСТЕМЫ ДИСК/АВТОМОБИЛЬНАЯ ШИНА/АСФАЛЬТОБЕТОН

д.ф.-м.н. Щербаков С.С., асп. Грибовский Г.В.

Белорусский государственный университет, Минск

Постановка задачи. В работе рассматривается взаимодействие элементов многоэлементной системы диск/автомобильная шина/асфальтобетон. Известен ряд работ, посвящённых аналитическому и компьютерному моделированию напряженно-деформированного состояния отдельных элементов указанной системы [1,2,3]. Однако, задача оценки одновременных контактных взаимодействий элементов системы, их трехмерного напряженно-деформированного состояния и состояния объемной повреждаемости остаётся не до конца решённой.

Целью работы является определение с помощью компьютерного конечно-элементного моделирования указанных состояний системы диск/автомобильная шина/асфальтобетон. Расчёт повреждаемости основан на использовании модели деформированного твёрдого тела с опасным объёмом. В соответствии с данной моделью опасным объёмом является пространственная область нагруженного тела, в которой действующие напряжения превышают предельные [4].

Построение конечно-элементной модели. Для расчётов была взята готовая геометрическая модель грузовой шины радиуса 22,5 дюйма GoodYear 12R22.5 с диском [5], из которой для ускорения расчетов были убраны некоторые элементы, которые не давали бы практически значимых для анализа результатов. Асфальтобетонное покрытие моделировалось прямоугольным параллелепипедом размером 350x100x175 мм. Для ускорения расчётов в силу симметрии основной модели использовалась ее четверть (см. рис. 1).

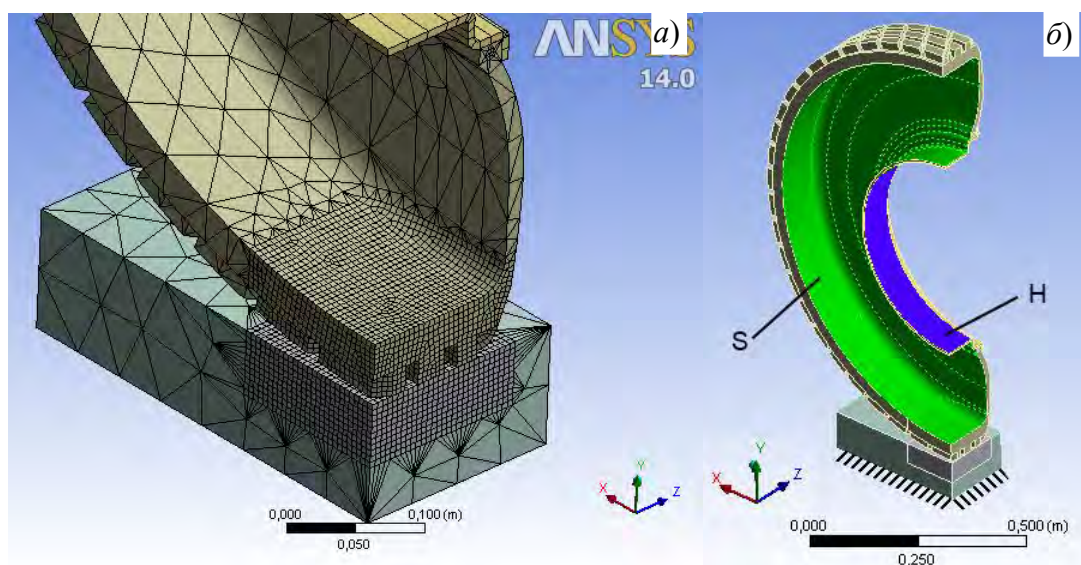


Рис. 1. Схема нагружения (а) и конечно-элементное разбиение модели (б)

Для того, чтобы при нагружении внутренним давлением и осевой нагрузкой шину не выдавливало из-под диска, в модель было добавлено бортовое кольцо, которое есть и в реальных автомобильных шинах [6].

Поскольку в работе рассматривается объёмная повреждаемость в зоне контакта шины и асфальтобетона, то в данной области было задано более плотное конечно-элементное разбиение, по сравнению с остальной моделью (см. рис. 1, а)

На поверхностях сечений модели в плоскостях XY и YZ были заданы условия симметрии по оси Z и X соответственно.

Автомобильная шина имеет сложную структуру. Она состоит из различных элементов с соответствующими механическими характеристиками [6]. В расчетах рассматривались усреднённые упругие характеристики для шины, как для конструкции в целом (см. табл. 1).

Табл. 1. Механические характеристики элементов модели

	Модуль упругости, E , Па	Коэффициент Пуассона, ν	Плотность, кг м^{-3} , ρ
Сталь	$2 \cdot 10^{11}$	0,3	7850
Шина [1]	$4 \cdot 10^8$	0,49	1100
Асфальтобетон [3]	$14,77 \cdot 10^8$	0,1	2510

В качестве граничных условий рассматривались следующие нагрузки, действующие на систему диск/автомобильная шина/асфальтобетон (рис. 1, б):

1) внутреннее давление q в шине на поверхности S :

$$q|_S = 850 \text{ кПа}, \quad (1)$$

2) осевая нагрузка F направленная по оси Y , приложенная к поверхности диска H :

$$F|_S = -30 \text{ кН}, \quad (2)$$

3) основание асфальтобетонного покрытия жестко заделано зафиксировано во всех направлениях.

Нагрузки для шины были взяты из нормативной литературы производителя [7].

Коэффициенты трения сталь-шина и шина-асфальтобетон, равные 0,6, были взяты из справочников [8,9].

Анализ напряжённо-деформированного состояния. Из рис. 2 видно, что максимальная интенсивность напряжений возникает в диске в направлении осевой нагрузки, а также в окрестности концентраторов напряжений. Также большие напряжения возникают в бортовом кольце шины. Схожий характер имеют и распределения первых главных напряжений. Напряжения в шине в несколько раз меньше, чем в диске. Только в бортовой поверхности шины возникают напряжения, сопоставимые с напряжениями в диске.

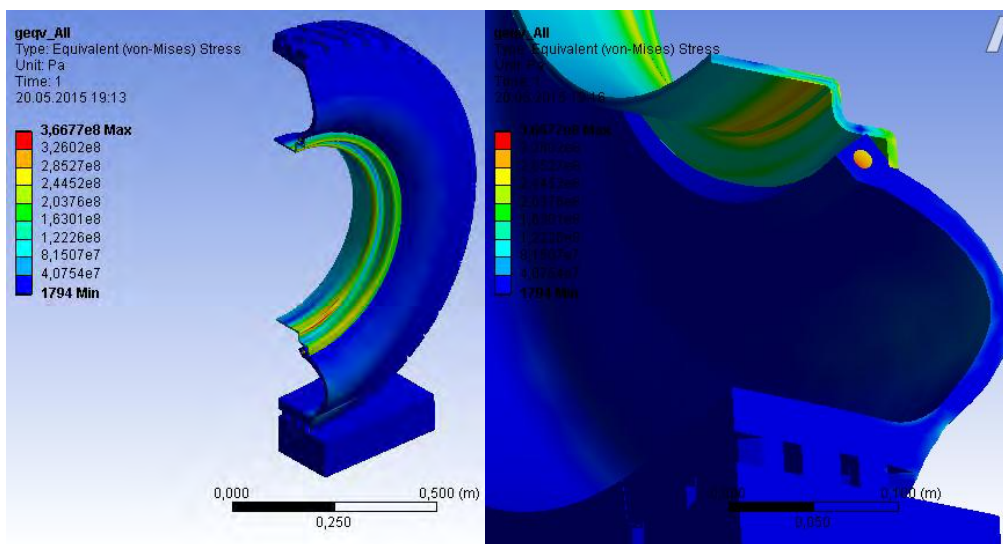


Рис. 2. Эквивалентные напряжения в системе

В шине наибольшая интенсивность напряжений возникает в бортовой части. Максимальные напряжения, как и в диске, сконцентрированы в направлении осевой нагрузки, где шина испытывает наибольший изгиб.

Анализ контактного взаимодействия шины и асфальтобетона (см. рис. 3) показывает, что контактное давление и наибольшая интенсивность напряжений сосредоточены не в центре области контакта, а сбоку в области, где диск передаёт осевую нагрузку шине. То же самое наблюдается и для первых главных напряжений.

В качественном отношении подобное распределение контактного давления с максимальными значениями на краях области контакта соответствует задаче о вдавливании плоского штампа.

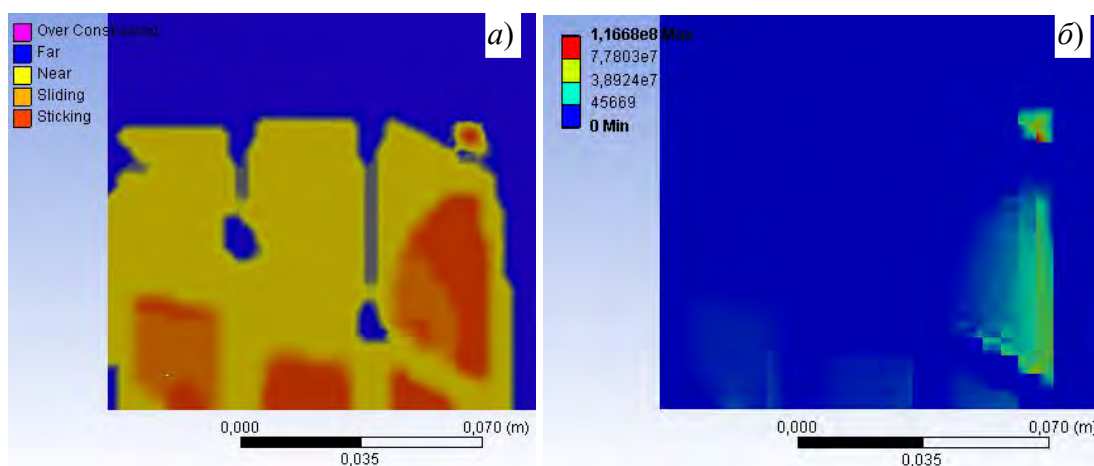


Рис. 3. Область контакта (а) и контактное давление (б)

Объёмная повреждаемость. Расчёт повреждаемости основан на использовании модели деформированного твёрдого тела с опасным объёмом [4,10]. В соответствии с данной моделью, опасным объёмом является пространственная область нагруженного тела, в которой действующие напряжения превышают предельные:

$$\Psi_c = \frac{\sigma_c}{\sigma_c^{*lim}}, \quad (3)$$

$$V_c = \left\{ \frac{dV}{\Psi_c} \geq 1, dV \subset V_k \right\}, \quad (4)$$

где $c = 1, 3$ и int – первые, третьи главные напряжения и интенсивность напряжений соответственно.

В работе рассматриваются опасные объёмы в области контакта шины и асфальтобетона, работающих в условиях фрикционной усталости. Предел фрикционной усталости был выбран равным 8 МПа [10].

Для расчёта и визуализации опасных объёмов в зоне контакта была написана специальная программа в среде Wolfram Mathematica, которая оперирует данными, экспортированными из пакета ANSYS Workbench.

Как видно из рис. 4, опасные объёмы образуются непосредственно в областях наибольшего контактного давления в области взаимодействия шины с асфальтобетоном. Шкала под рисунками описывает уровень локальной повреждаемости (3) в опасном объёме (4), т.е. во сколько раз действующие в конечном элементе напряжения превышают предельные, равные 8 МПа.

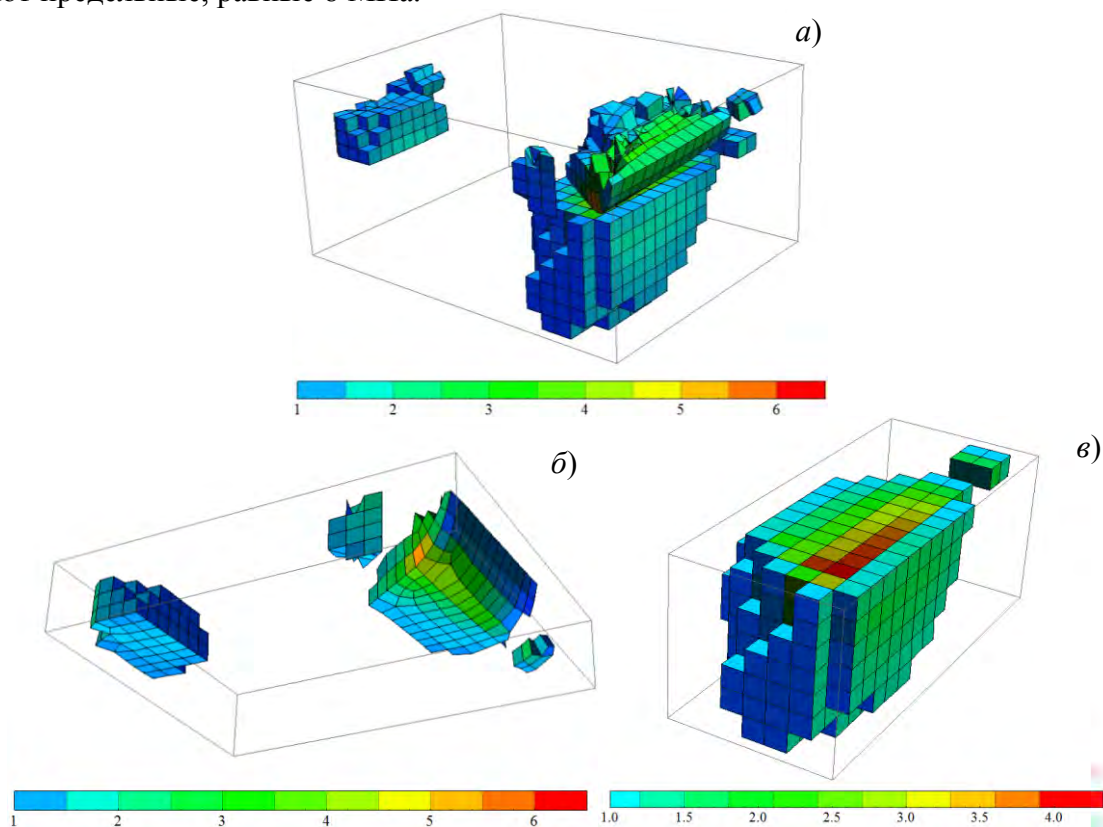


Рис. 4. Опасные объёмы, рассчитанные по интенсивности напряжений во всей системе (а), в шине (б), в асфальтобетоне (в)

Как видно из табл. 2, опасные объёмы в асфальтобетоне примерно в полтора-два раза больше чем в шине. Меньшая повреждаемость шины в области контакта может быть обусловлена перераспределением напряжений в ней вследствие ее объемного деформирования. С другой стороны, нагружение асфальтобетона происходит лишь в малой области контактного взаимодействия.

Табл. 2. Опасные объёмы

Тип опасных объёмов	Опасный объём в шине, см ³	Опасный объём в асфальте, см ³
V_{int}	24,377	44,536
V_3	24,113	34,170
V_1	14,066	34,170

Заключение. Получено распределение напряжений в системе, рассчитаны контактное взаимодействие между её элементами, а также опасные объёмы в шине и асфальтобетонном покрытии в зоне контакта. Полученные опасные объёмы в асфальтобетоне оказались примерно в полтора-два раза больше, чем в шине из-за перераспределения в ней напряжений вследствие объемного деформирования.

РЕЗЮМЕ

Проведено компьютерное моделирование напряжённо-деформированного состояния многоэлементной системы диск/автомобильная шина/асфальтобетон, нагруженной внутренним давлением шины и осевой нагрузкой на диск. Было получено распределение напряжений в системе. Рассчитаны контактное взаимодействие между её элементами, а также опасные объёмы шины и асфальтобетонного покрытия в зоне контакта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Imad, L. Al-Qadi. Prediction of Tire-Pavement Contact Stresses and Analysis of Asphalt Pavement Responses: A Decoupled Approach / Imad L. Al-Qadi, Hao Wang // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 2011. – №80. – С. 289–316.
2. Шейкина, В.А. Математическое моделирование контактного взаимодействия авиационной шины с жёстким покрытием / Шейкина В.А. – Иваново: ИГЭУ, 2012.
3. Е.В. Вайнштейн. Исследование изменения касательных напряжений и вертикальных перемещений от лесовозного автопоезда в конструкции дорожной одежды и земляного полотна / Е.В. Вайнштейн, В.М. Вайнштейн, П.А. Нехорошков // Инженерный вестник Дона. – 2012. – №4–2. – Т. 23. – С. 39.
4. Щербаков, С.С. Механика трибофатических систем / С.С. Щербаков, Л.А. Сосновский. – Минск: БГУ, 2011. – 407 с.
5. 22.5" Aluminum Truck Wheel & 12R22.5 Tire // GrabCAD [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://grabcad.com/library/22-dot-5-aluminum-truck-wheel-and-12r22-dot-5-tire>. – Дата доступа : 19.10.2014.
6. Lopez, I. Tire/road friction modeling / I. Lopez, B. de Bruijn, A.J.C. Schmeitz – Eindhoven: TU/e, 2007. – С. 9.
7. Goodyear truck tires. Technical data book / Goodyear Dunlop Tires Operations S.A. – 2011. – С. 37.
8. Шмелёв, А. Трение и его роль в креплении грузов / Шмелёв А. // Автоперевозчик. – 2010. – №6. – С. 82.
9. Коэффициенты трения скольжения // DPVA.info справочные таблицы для инженеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.dpva.info/Guide/GuidePhysics/Frication/FrictionOfSlicing/>. – Дата доступа : 07.02.2015.
10. Сосновский, Л. А. Основы трибофатики / Сосновский Л. А. – Гомель : БелГУТ, 2003. – Т. 1. – 246 с. – Т. 2. – С. 234.

SUMMARY

Computer simulation of stress-strain state of rim/car tire/asphalt system for the action of internal pressure in the tire and axle load on the rim was made. Distribution of stresses in the system was obtained. Contact interaction between system elements and volume damageability of tire and asphalt in the contact zone were calculated.

E-mail: mmf.gribovskiy@gmail.com
sherbakovss@mail.ru

Поступила в редакцию 20.10.2015