

УДК 629.11.012.55

Арефін Ю.В.<sup>1</sup>, Ларін О.М., д.т.н.<sup>2</sup>, Ларін О.О., к.т.н.<sup>3</sup>, Субочев О.І., к.т.н.<sup>4</sup>

1 — Донецький індустріальний технікум, м. Донецьк;

2 — Національний університет цивільного захисту України, м. Харків;

3 — Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків;

4 — Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

## ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОГО НАПРУЖЕНО–ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПНЕВМАТИЧНОЇ ШИНИ В ЛІНІЙНІЙ ТРИВИМІРНІЙ ПОСТАНОВЦІ

*Розроблено ефективну методику побудови тривимірних моделей пневматичних шин. В основі методики побудови — лінійна тривимірна розрахункова модель радіальної пневматичної шини серії 175/R15 українського виробництва. Проведено дослідження статичного напруження деформованого стану шини з урахуванням її контактної взаємодії з дорогою.*

### **Вступ**

Експлуатаційні та функціональні характеристики автомобіля, а також його надійність багато в чому визначаються параметрами пневматичних шин. Це призводить до необхідності висувати до них високі вимоги, що розділяються на наступні групи: безпека, економічність, комфортабельність, низька вартість [1-2]. Повністю задовольнити всім наведеним вимогам практично не можливо, бо деякі з них частково суперечать іншим, не менш важливими властивостями.

Найважливішою характеристикою якості шин є строк їх служби, який визначається опором гум і інших шинних матеріалів різним видам руйнування. Здатність шини зберігати свою працездатність залежить від фізико-механічних і хімічних властивостей, від зовнішніх експлуатаційних факторів, що визначають ступінь навантаження матеріалу, а також від конструктивних особливостей шини.

Основні види руйнування гум в елементах пневматичних шин пов'язані з явищами втоми, що виникають у результаті динамічних циклічних деформацій їх елементів під час кочення по дорозі. Повний комплекс навантажень, які впливають на шину, що рухається, а це і внутрішній тиск, і вертикальне навантаження від ваги автомобіля, і вплив нерівностей дорожнього покриття та температурне поле, не може розглядатися одночасно. Дійсно, навіть чисельне розв'язання такої задачі досить складне й повною мірою на сьогоднішній день не можливе. У зв'язку із цим на сучасному рівні розвитку теоретичних і прикладних інженерних підходів розрахунки шини реалізуються поетапно: статичний напружено-деформований стан (НДС), аналіз лінійних коливань (у детермінованій і імовірнісній постановці), аналіз вимушених коливань, задача визначення теплоутворення, аналіз кінетики росту пошкоджуваності й визначення ресурсу шини.

При цьому на кожному наступному етапі шина повинна розглядатися як попередньо напружена конструкція. Особливо це стосується питань, пов'язаних з динамічними задачами. Дійсно, статичний деформований стан визначає положення рівноваги системи, навколо якого розглядаються коливальні процеси, а початкові напруження здатні робити роботу на виникаючих динамічних переміщеннях, та, отже, можуть впливати на жорсткість конструкції.

Таким чином, незважаючи на те, що надійність і міцність пневматичної шини в першу чергу визначається динамічною поведінкою системи, найважливішим етапом аналізу є розв'язання задачі її статичного деформування. При цьому точність розв'язання цієї проблеми має виняткову важливість, тому що її результати використовуються надалі під час побудови динамічних моделей і під час формування моделі накопичення пошкоджуваності, а отже, неточність у визначенні НДС заздалегідь вносить похибку у наступні дослідження.

### Розробка тривимірної моделі пневматичної шини

У роботі розглядається пневматична радіальна шина, призначена для легкових автомобілів. На рисунку 1 наведено геометричну схему профілю шини й основні визначальні розміри. Дослідження проводилися для шини українського виробництва ВАТ Россава модель БЦ-43 175/R15.

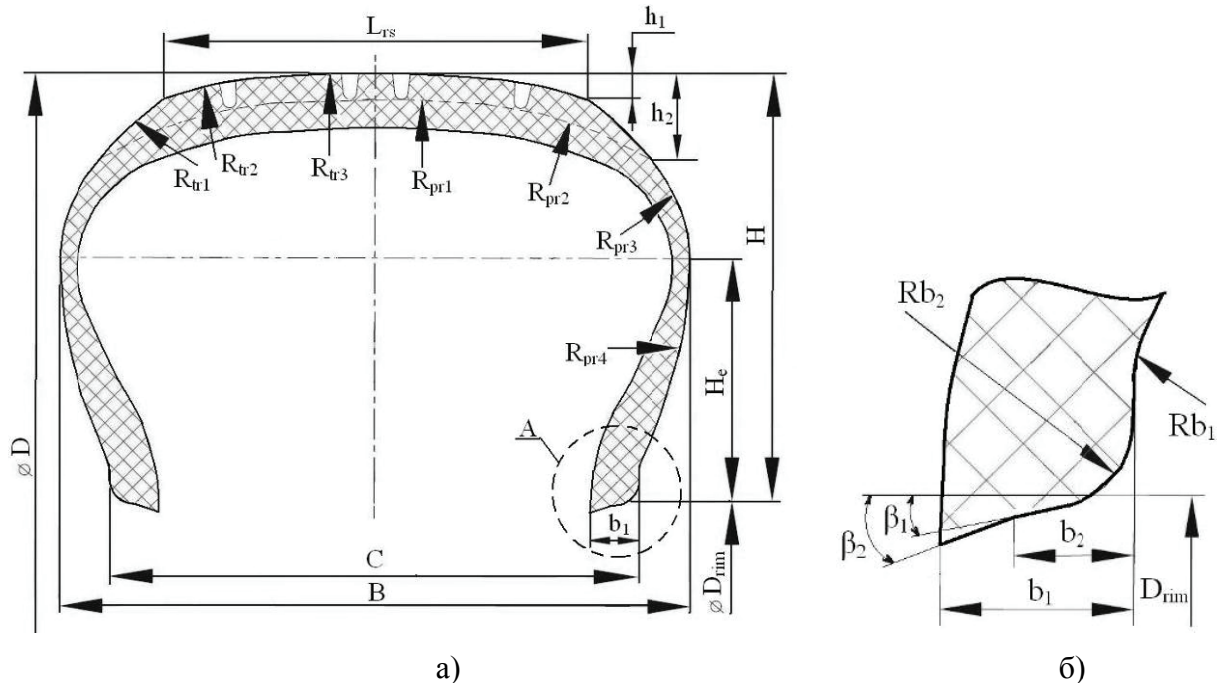


Рис. 1. Геометрична модель профілю поперечного перерізу пневматичної шини і його основні розміри  
а) — профіль шини; б) — борт

Основні параметри шини мають наступні значення:

- загальний діаметр колеса  $D = 576$  мм;
- діаметр диска  $D_{rim} = 329,4$  мм;
- ширина шини  $B = 182$  мм;
- висота шини  $H = 123,3$  мм;
- положення середньої лінії  $H_c = 69,93$  мм;
- довжина бігової частини  $L = 122$  мм.

У сучасній інженерній практиці найбільшого поширення набули тривимірні моделі, на основі яких виконується розв'язання задач методом скінчених елементів (МСЕ). Це пов'язано з тим, що моделі більш низького рівня не враховують усі геометричні й конструктивні особливості шини, а отже, не дозволяють оцінити з необхідною для практичних результатів точністю рівні напружень у місцях їх концентрації.

При цьому важливим питанням є розробка алгоритму побудови відповідних геометричних моделей, які враховували б основні елементи шини, їх властивості, а також, що дуже важливо, подальшу можливість коректного нанесення скінчено-елементної (СЕ) сітки.

Особливості конструкції шини визначають принципи її проектування. Дійсно внутрішній контур представляється оболонкою обертання, а на зовнішньому — осьова симетрія порушена за рахунок наявності протектора. Однак варто відзначити, що рисунок протектора також має крок повторення, тобто має деякий вид симетрії (вона зветься поворотною або циклічною). У зв'язку з цим внутрішню структуру шини (геометрію, розміри, кількість і тип шарів) створюють в осесиметричній постановці, окремо розробляється сектор протектора,

який згодом накладається зверху на шину й сполучається з нею як круговий масив. Принципову схему цих етапів наведено на рисунку 2.

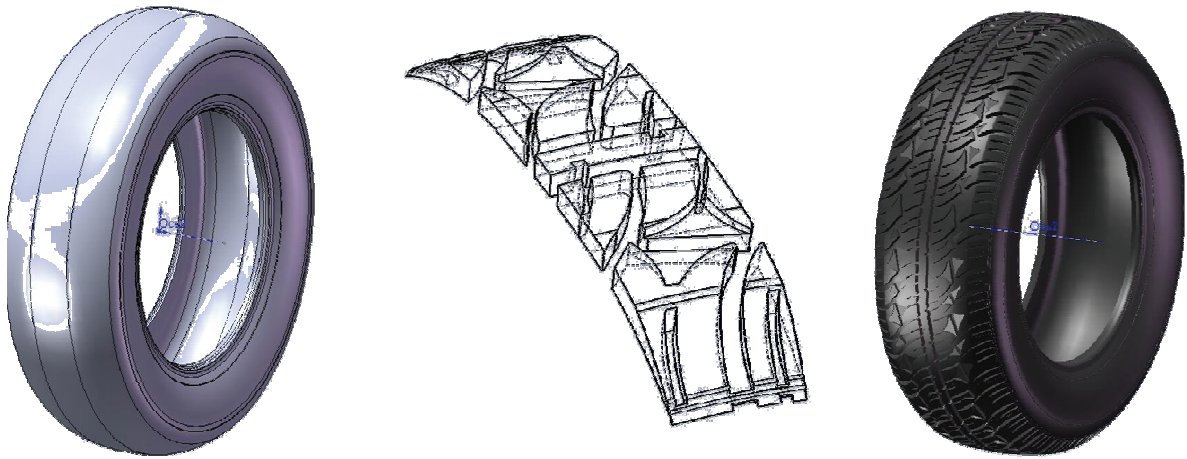


Рис. 2. Етапи проектування шини

У роботі пропонується роздільно будувати елементи протектора й профіль поперечного перерізу, при цьому на першому етапі розробляються плоскі моделі, що визначають перетини, що породжують, потім будуються тривимірні елементи шляхом їхнього протягання й просторового викривлення, а на завершальній стадії відбувається об'єднання сіток.

Такий підхід може бути легко автоматизований і ефективно застосовуватись під час розробки СЕ моделей пневматичних шин. На рисунку 3 представлений сектор тривимірної СЕ моделі, побудований відповідно до розробленої методики. При цьому використовувалися чотирьохвузлові тетраедральні ізопараметричні скінчені елементи із трьома ступенями волі у вузлі.



Рис. 3. Тривимірні СЕ сітки сектору пневматичної шини

#### *Аналіз статичного напружено деформованого стану*

Використовуючи побудовану тривимірну СЕ модель шини, у роботі проведено аналіз статичного НДС навантаженої шини, тобто шини, накаченої газом під внутрішнім тиском і обтиснутої відносно дорожнього полотна в результаті впливу ваги автомобіля. При цьому було додатково побудовано модель дорожнього полотна (рис. 4 а). Відповідне дослідження сполучене з розв'язком задачі одnobічного контакту. Враховуючи високу еластичність і податливість резиноподібних матеріалів шини, контактні умови слід накладати з урахуванням міжелементного тертя. Розв'язання відповідної математичної проблеми навіть у припущенні лінійної пружності матеріалів сполучене із труднощами у силу її повільної та нестабільної збіжності. У ро-

боті використовувались спеціальні «контактні» SE типу «поверхня–поверхня», які додатково наносилися на поверхні шини й дорожнього полотна. Для розв'язку контактної задачі використовувався метод Лагранжа.

На рисунках 4 і 5 представлені результати розв'язку задачі статичного контакту. На рис. 5 наведено розподіли інтенсивності напружень по сектору шини і їх основні проекції.

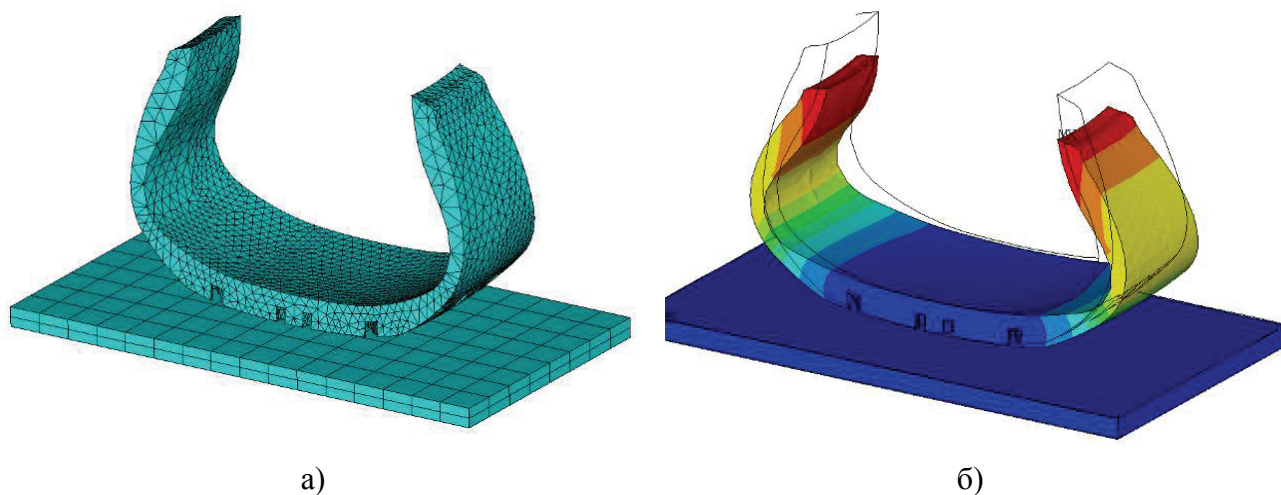


Рис. 4. Аналіз контактної взаємодії шини з дорожнім покриттям

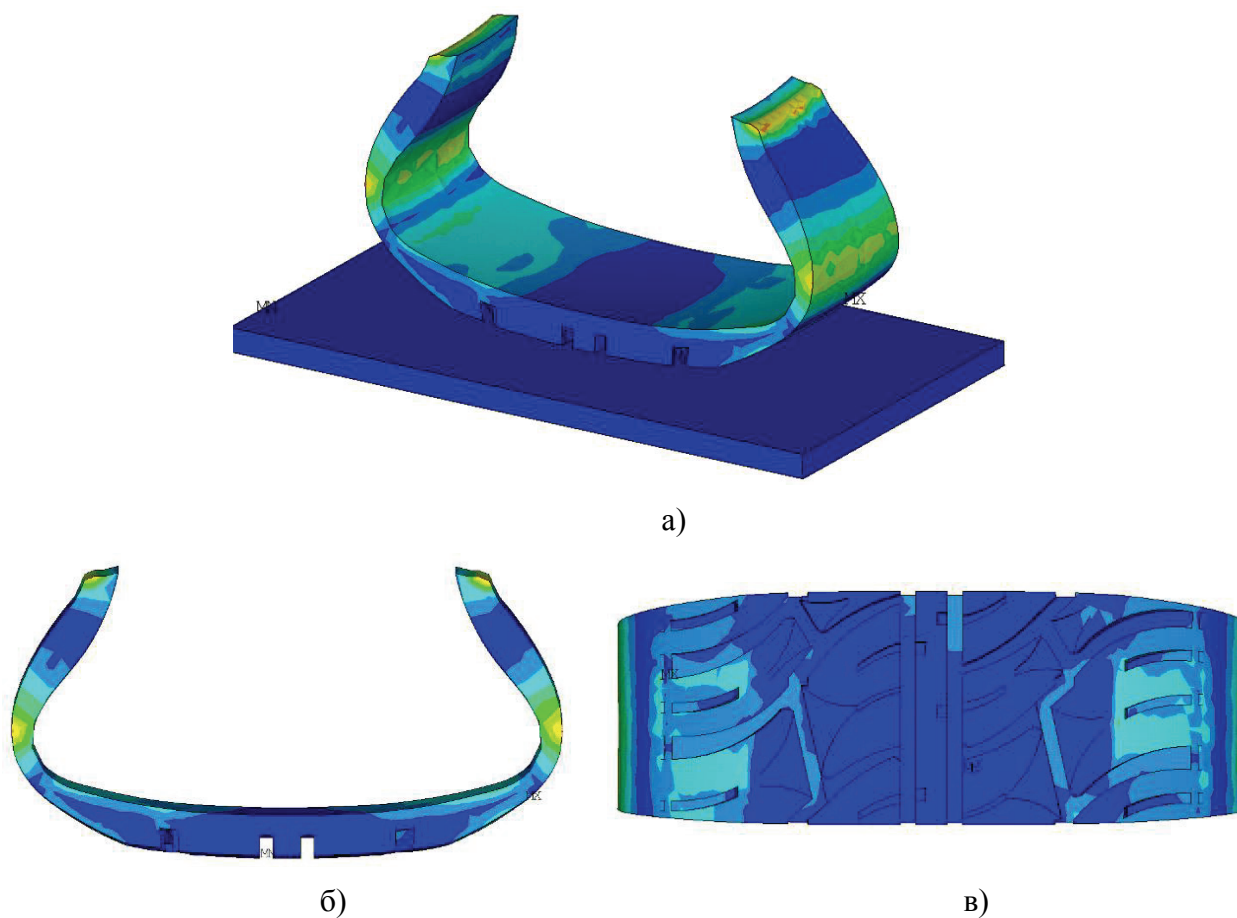


Рис. 5. Напружений стан навантаженої пневматичної шини  
а) — тривимірне зображення б) — профільна проекція;  
в) — проекція знизу (вид «з дороги»)

Результати показують, що по лінійній однорідній тривимірній моделі, як по плоскій профільній моделі, концентрація напружень має місце в областях бортового кільця, боковини, у районі кінців брекери. Однак максимальні напруження досягаються у вузькій області між протектором і мінібоковиною. Отримані результати відповідають і наявним даним з досвіду експлуатації, тому що всі відзначені зони концентрації напружень співпадають з тими областями, у яких найбільш часто спостерігаються відмови.

### ***Висновки***

Таким чином, у роботі розглянуто питання побудови тривимірної SE моделі пневматичної шини. Вирішено задачу пружного контакту тривимірної моделі шини з дорожнім полотном, використовуючи побудовану модель. Визначено зони концентрації напружень.

### ***Список літератури***

1. Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин / Б.Л. Бухин. — М.: Химия, 1988. — 224 с.
2. Кнороз В.И. Работа автомобильной шины / В.И. Кнороз. — М.: Транспорт, 1978. — 238 с.

Стаття надійшла до редакції 12.05.10

© Арефін Ю.В., Ларін О.М., Ларін О.О., Субочев О.І., 2010