

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ СУЧАСНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 004.9:629.3.027.52

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ  
КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН ЛЕГКОВИХ  
АВТОМОБІЛІВ

О. О. ЛАРИН\*, А. В. КОЗЛЮК

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна  
\*email: AlexeyA.Larin@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** Реалізована система автоматизованого проектування побудови моделі пневматичної шини з урахуванням її внутрішньої багатошарової будови. Створена інформаційна система, яка будує шину, розраховує напружено-деформований стан, похибку та виводить результати. Користувач має можливість перевірити параметри за допомогою креслеників, побудованого у SolidWorks. У якості прикладу побудовано та розраховано дві моделі: автомобільної та велосипедної шин.

**Ключевые слова:** пневматичні шини, параметризація, система автоматизованого проектування, напруження, метод скінченних елементів

**АННОТАЦИЯ** Реализована система автоматизированного проектирования построения модели пневматической шины с учетом ее внутренней многослойной структуры. Создана информационная система, которая строит шину, рассчитывает напряженно-деформированное состояние, погрешность и выводит результаты. Пользователь имеет возможность проверить параметры с помощью чертежей, построенных в SolidWorks. В качестве примера построены и рассчитаны две модели: автомобильной и велосипедной шин.

**Ключевые слова:** пневматические шины, параметризация, система автоматизированного проектирования, напряжения, метод конечных элементов

A DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM FOR AUTOMATED  
CONSTRUCTION OF FE MODELS OF PNEUMATIC

O. LARIN\*, A. KOZLYUK

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

**ABSTRACT** In this work there is a project of working out of the information system of automated constructing of computer models of pneumatic tires. Using of CAD facilitates model constructing and raises a precision of the calculation, makes it possible to vary by parameters for the attainment of a reduction of the expense value, the augmentation of a using term, the reduction of consumptions during the exploitation. There is a need for the creation of specialized CAD, which will take into consideration a specific nature of the object, which is researched; will get necessary characteristics in the practical ratio by the direct application, will have an interface which will be simple convenient and clear intuitively for the designer as well. The system allows to take into account inset multi layered structure of tire and gives geometric and finite-element model, which could be used for analysis of its deformed state. A structural analysis is also automated and organized via the CAE software. The user has the possibility to check the necessary parameters using drawings, built in SolidWorks and to get figures of a distribution of the stresses and strains and to get the model error estimation. In spite of essential differences in measurements, the definite variation of inside structure, all pneumatic tires have general principles of the geometric design, that makes it possible to create a common system of the parameterization and automated constructing. Different rubber mixtures and composite materials are used in each layer of the pneumatic tire. So, the setting procedure of unique features of materials of the layers will be carried out for each one. In this work a main attention is given to parametric modeling of a tire profile and its structure. As an example two model is built and designed. These are the models of automobile and bicycle tires.

**Keywords:** pneumatic tires, parameterization, computer aided design, stress, finite element method

Вступ

Пневматична шина є важливим елементом ходової частини автотранспортних

засобів. Характеристики шини впливають на гальмівні та тягові показники, на витрату палива, плавність ходу, керуваність, стійкість

руху тощо. Разом із цим показники міцності та довговічності шин є важливими складовими надійності та безпеки експлуатації транспортного засобу в цілому. Вони визначаються характеристиками деформування шини за різних умов роботи [1]. Дійсно, експлуатаційні характеристики визначаються радіальною (вертикальною), боковою (латеральною), тангенціальною (поздовжньою) жорсткостями, які є розв'язком задачі деформування пневматичної шини із дорожнім покриттям за різних навантажень [2]. Вони закладаються також і в алгоритми сучасних систем електронного керування в транспортних засобах (комп'ютеризовані системи ABS, ESP, StabiliTrak тощо) [3] отже достовірно визначення інтегральних характеристик шин є важливою практичною задачею, що стоїть перед інженерами та проектувальниками. Зрозуміло, що ці характеристики визначаються конструкцією шини, її будовою, внутрішньою структурою, властивостями матеріалів тощо.

Визначення експлуатаційних характеристик пневматичних шин, прогнозування їх надійності та оцінка строку служби може бути проведена експериментально або теоретично, шляхом комп'ютерного моделювання. На сьогоднішній день останнє набуває більшої популярності в практиці проектування. Оскільки теоретичні дослідження, що проводяться із застосуванням сучасних програмних комплексів чисельного моделювання, є більш дешевим засобом, разом із тим дозволяє отримати досить точні результати. При цьому на перший план виходить якість побудованих комп'ютерних моделей, які з одного боку дозволяють отримувати достовірні результати, враховують основні особливості конструкції (геометрію, внутрішню структуру, поведінку матеріалів тощо), а з іншого боку є достатньо гнучкі, тобто дозволяють легко змінювати параметри моделі, з тим аби отримати нову конструкцію, або модифікувати існуючу. Для досягнення цієї мети доцільно застосувати системи автоматизованого проектування (САПР), що реалізовані у сучасних програмних комплексах.

Використання САПР облегшує побудову моделі та підвищує точність розрахунків, дозволяє варіювати параметрами для досягнення зниження вартості затрат, збільшення терміну використання, зменшення витрат при експлуатації. Проте існуючі системи є занадто уніфікованими, потребують

спеціальної підготовки конструктора та обмежені у прямому застосуванні для визначення інтегральних характеристик пневматичної шини, а також не дозволяють оцінювати її ресурс. Отже виникає потреба в створенні спеціалізованої САПР, що буде: враховувати специфіку об'єкту, що досліджується; безпосереднім застосуванням дозволить отримувати необхідні в практичному відношенні характеристики, а також матиме простий зручний і інтуїтивно зрозумілий для проектувальника інтерфейс. Створення таких систем є важливою та актуальною проблемою [4].

В даній роботі представлено проект з розробки інформаційної системи (ІС) автоматизованої побудови комп'ютерних моделей пневматичних шин.

### Побудова параметричної моделі

Шини використовуються в багатьох транспортних засобах, таких як, автомобілі, велосипеди, трактори, мотоцикли, літаки, тощо. Незважаючи на істотні відмінності у габаритних розмірах, певну варіацію внутрішньої структури, всі пневматичні шини мають загальні принципи геометричної конструкції, що дозволяє створити єдину систему параметризації та автоматизованої побудови. Пневматична шина складається з каркасу, брекеру, бортового кільця, протектора та боковини (рис.1) [5,6].

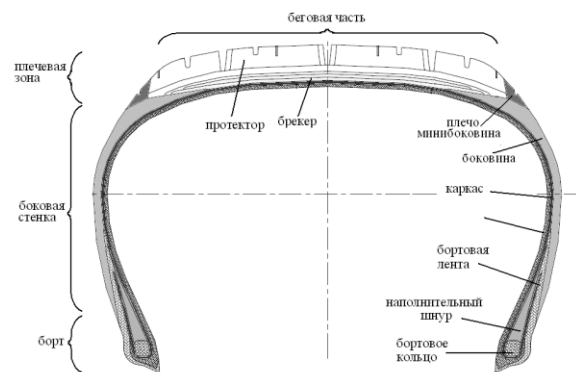


Рис. 1 – Структура пневматичної шини

У даній роботі основна увага приділена параметричному моделюванню профілю шини і його структури. При цьому не враховувались особливості малюнка протектора. Першим етапом автоматизації є визначення комплексу базових параметрів [7]. В структурній схемі, яка наведена на рис.2, показані деякі параметри та їх взаємозв'язок (рис.2).

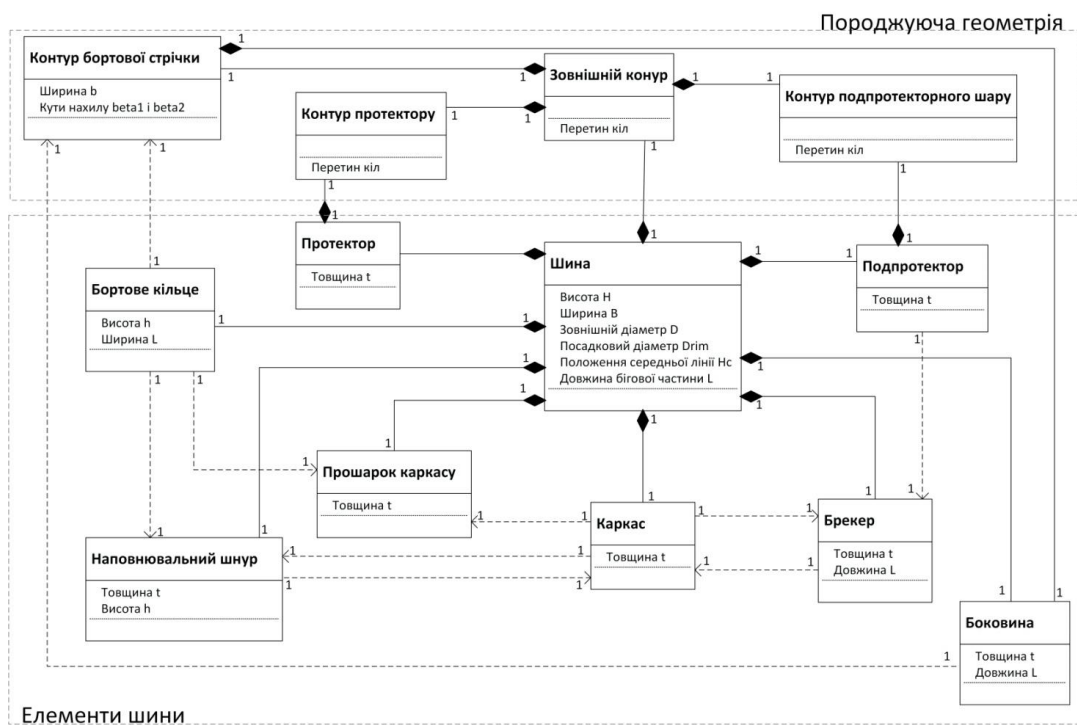


Рис. 2 – Діаграма класів (пунктирною лінією зображені залежності між елементами, лінією з ромбом на кінці – композиція елементів, тобто: один елемент є частиною іншого)

Побудову геометричної моделі шини починають з точок, координати яких визначають із габаритних розмірів. Ставляться опорні точки центрів кіл, які формують зовнішній контур профілю шини. Між крайніми точками профілю будуються дуги кіл. Загальна точка сусідніх секторів визначається з вирішення задачі їх перетину. По заданим параметрам визначається зовнішній контур борту (рис.3).

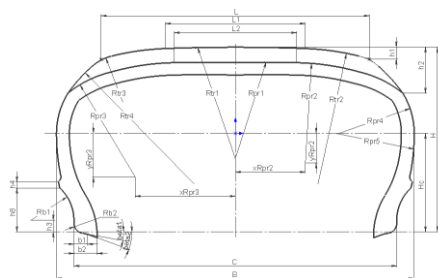


Рис. 3 – Основні розміри поперечного перерізу пневматичної шини

Для побудови внутрішніх шарів шини задаються опорні точки, виходячи із заданими товщинами та іншими додатковими параметрами. Послідовно для кожного шару у відповідності з точками повторюємо контури за допомогою дуг кіл. Створюємо плоскі поверхні по контуру кожного з шарів. Об'ємна модель будується шляхом протягування

профілю шини навколо осі. Деталі алгоритму побудови моделі конструкції наведенні на блок-схемах (рис.4-6).

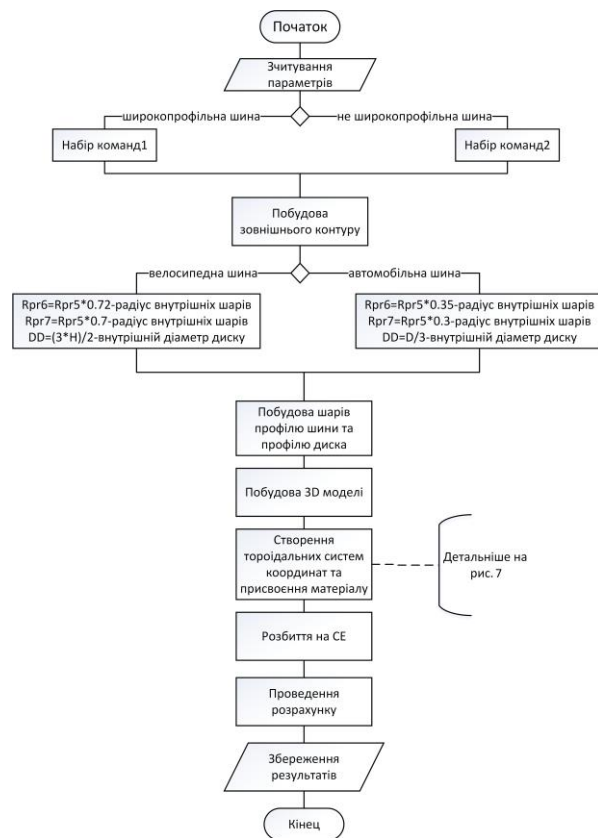


Рис. 4 – Загальна блок схема



Рис. 5 – Набір команд1

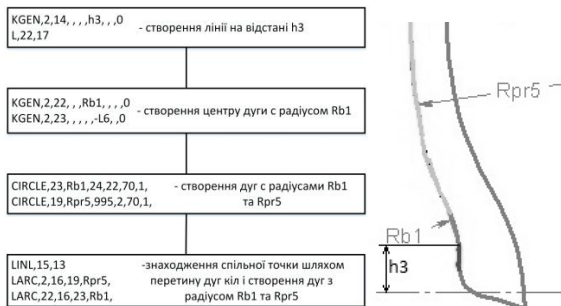


Рис. 6 – Набір команд2

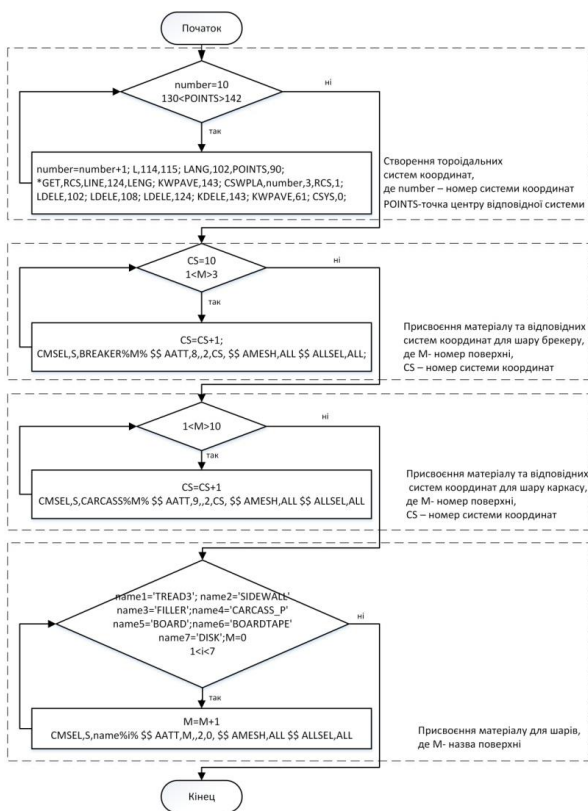


Рис. 7 – Створення тороїдальних систем координат та присвоєння матеріалу

Приклади побудованих моделей представлені на рис.8.

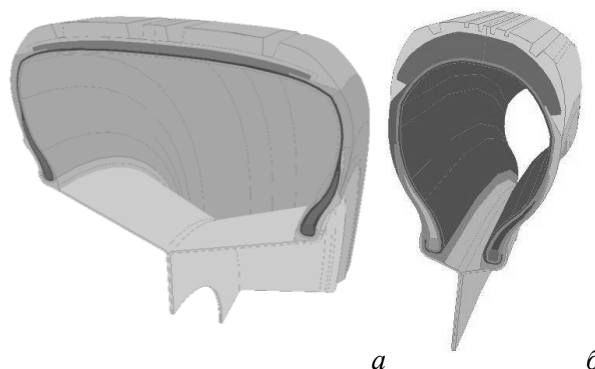


Рис. 8 – Модель шини: а – автомобільної; б – велосипедної

В основі кожного з шарів пневматичної шини лежить певна гумова суміш [8-9]. Їх властивості залежать від призначення відповідного шару та можуть мати суттєво різні показники. Наприклад, модуль пружності гумоподібних матеріалів протектора, боковини та наповнювача відрізняються один від одного у понад п'ять разів. Більше того, каркас та брекер представляють собою гумо-кордні композити (класичні ортотропні матеріали). Модуль пружності цих композитів у напрямку армування є більшим за пружність гуми на два порядки. Важливо відмітити, що ортотропні властивості зазначених шарів мають бути задані у криволінійних координатах, оскільки армування шини повторює її геометрію, та має по дві кривизни. Конкретне завдання ортотропних властивостей, внаслідок цього потребує завдання їх в криволінійній системі координат. В даній роботі для цього побудовано систему тороїдальних фінітно-заданих координат (рис.9).

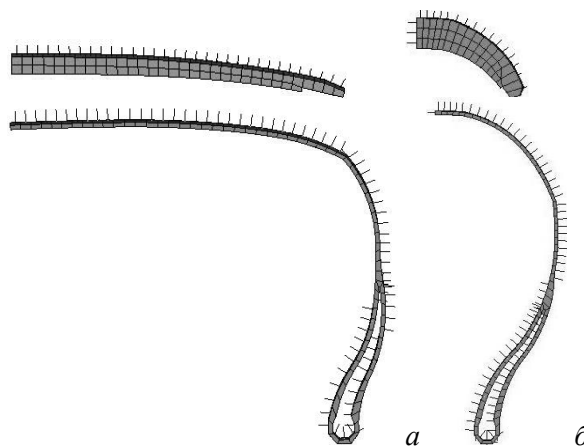


Рис. 9 – Присвоєні системи координат для: а – автомобільної шини, б – велосипедної шини

Таким чином, запропоноване параметричне моделювання дозволяє описувати особливості геометрії шин, їх внутрішню структуру та різноманітність матеріалів для широкого класу конструкцій. Вказаний підхід до параметричного моделювання був застосований для створення програмного продукту, який представляє собою ІС САПР пневматичних шин.

**Опис створеної інформаційної системи та її інтерфейсу**

Запропонована ІС є інтегрованим спеціалізованим програмним комплексом, що використовує сучасну CAD систему SolidWorks (перевірка параметрів) та CAE систему Ansys (проведення необхідних інженерних розрахунків). На рис.10 представлена архітектура даної ІС. Управління системою організовано за допомогою систематизованого додатку: керуючої програми. Дана програма призначена для моделювання різноманітних шин і проведення розрахунку їх напружено-деформованого стану (НДС), і написана на мові C# (C Sharp).

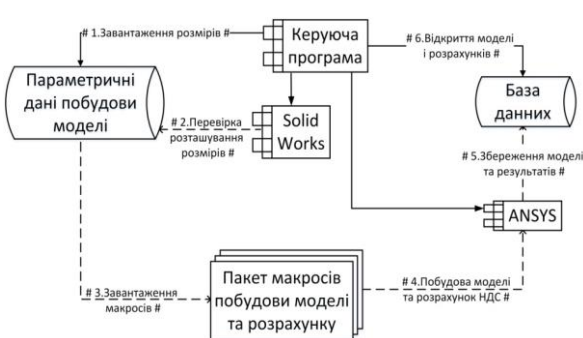


Рис. 10 – Діаграма компонентів

Параметрична модель шини реалізована у вигляді системи макросів, що використовує в роботі набір параметрів, який має бути попередньо збереженим в БД. Додатково створено систему типових креслень перерізу шини у CAD системі SolidWorks (SW), які використовувались для візуалізації процесу вибору параметрів шини. Керуюча програма має власний графічний інтерфейс, пристосований для завдання параметрів моделі. Загальна схема взаємодії користувача із розробленою ІС проілюстровано на відповідних діаграмах UML (рис.11 та рис.12).

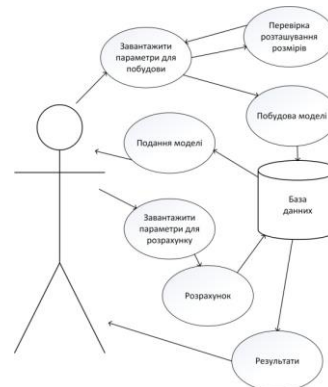


Рис. 11 – Діаграма прецедентів

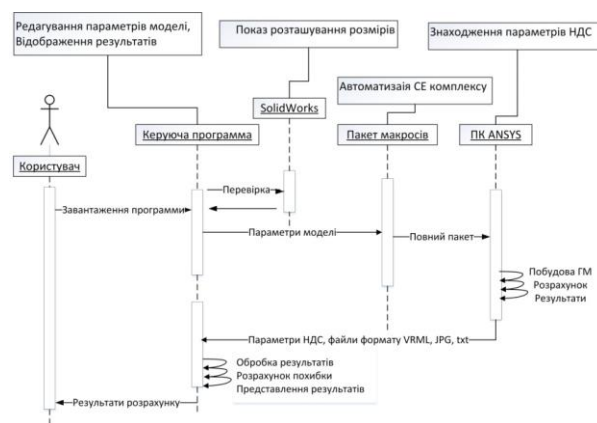


Рис. 12 – Діаграма послідовності (пунктирною лінією зображені часові осі)

Користувач має можливість завантажити текстовий файл, що описує розміри шини, або ввести необхідні розміри в певне поле (рис.13). Якщо значення є неприпустимими, програма реагує на них виведенням повідомлення. За допомогою кнопки «Відкрити креслення для довідки» здійснюється зв'язок креслення з розмірами: при наведенні на розмір він буде показаний в SW (рис.14). Зважаючи на те, який вид шин був обраний, відкриється креслення або автомобільної, або велосипедної шини. Через розмаїття пневматичних шин деякі розміри можуть бути зайвими, але програма підкаже, що робити в цьому випадку.

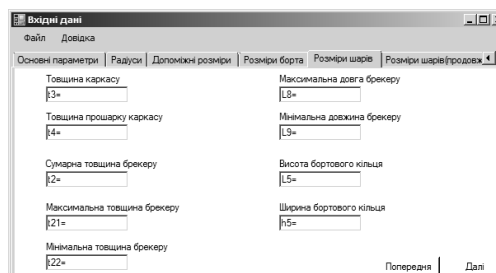


Рис. 13 – Вкладка форми «Вхідні дані»



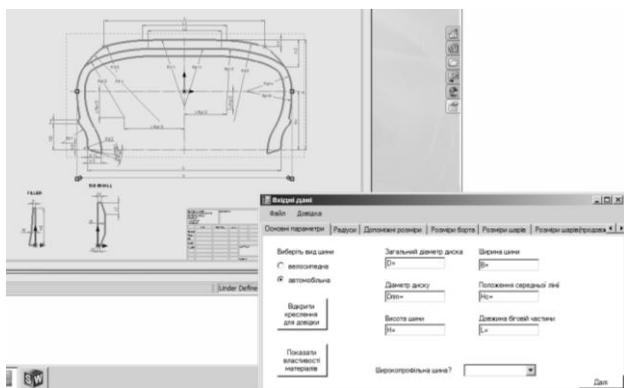


Рис. 14 – Запуск кресленника SolidWorks, та його взаємодія з Visual C#

Натиснувши на кнопку "модель 3D" буде показана модель за допомогою спеціального плагіну Cortona 3D (рис.15) [11].



Рис. 15 – Вкладка «3D уявлення і параметри розрахунку»

Вихідними даними є виведена на екран графічна і текстова інформація – результати аналізу (рис.16). Програмний продукт дозволяє аналізувати шину в цілому та різні її елементи окремо.

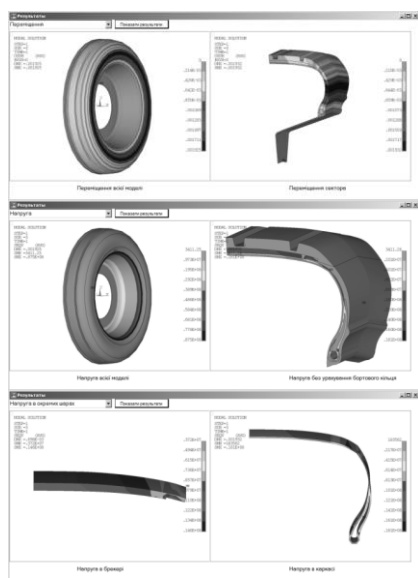


Рис. 16 – Форма «Результати»

За допомогою 3D скінченно-елементної моделі проведено аналіз статичного напружено-деформованого стану шини під дією внутрішнього тиску. Найбільші переміщення знаходяться в нижній частині боковини (рис.17). Цікаве явище спостерігається у деформуванні боковини шини, яке зумовлено наявністю зони, що майже не отримує переміщень порівняно із сусідніми частинами. Така поведінка зумовлена різнонаправленістю деформації бігової доріжки та боковини і здатна призвести до концентрації напружень в районах близьких до цього місця.

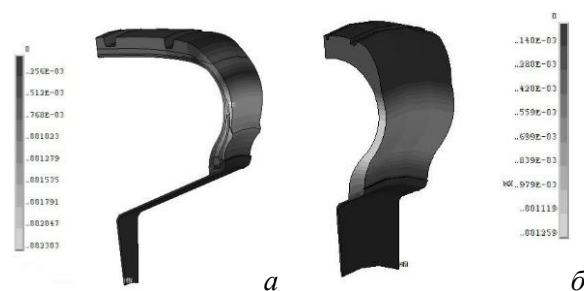


Рис. 17 – Розподіл сумарних переміщень (а–автомобільної шини, б–велосипедної шини)

На рис. 18-19 зображені еквівалентні напруження по критерію Мізеса. Максимальні напруження виникають в каркасі, брекері та у бортовій зоні.



Рис. 18 – Розподіл еквівалентних напружень (а –автомобільної шини, б–велосипедної шини)



Рис. 19 – Розподіл еквівалентних напружень в каркасі (а –автомобільної шини, б–велосипедної шини)

## Висновки

В даній роботі розроблена параметрична модель пневматичної шини з урахуванням її внутрішніх шарів. Створена інформаційна система, яка будує пневматичну шину, за заданими користувачем параметрами (розмірами), властивостями матеріалів, показує модель у 3D виді, розраховує НДС, похибку та виводить розрахунки користувачеві. У якості прикладу роботи ІС побудовано та розраховано дві моделі: автомобільної та велосипедної шин.

## Список літератури

- 1 **Clark S.K.** et al The pneumatic tire // National Highway Traffic Safety Administration. USA Dep. Of Transportation. – 2006. – P. 707.
- 2 **Dr. David Manas** Wear of Tires // Encyclopedia of Tribology. – 2013. – PP. 4073-4086.
- 3 **Miquet Charles** New test method for reproducible real-time tests of ADAS ECUs: "Vehicle-in-the-Loop" connects real-world vehicles with the virtual world // 5th International Munich Chassis Symposium 2014. – 2014. – P. 575-589.
- 4 Borhen Louhichi CAD/CAE integration: updating the CAD model after a FEM analysis / **Gad N. Abenhaim, Antoine S. Tahan** //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology // 2014.
- 5 **Кнороз В.И.** Работа автомобильной шины / **В.И. Кнороз.** – М. : Транспорт, 1978. – 238 с.
- 6 **Бухин Б.Л.** Введение в механику пневматических шин / **Б.Л. Бухин.** – М. : Химия, 1988. – 224 с.
- 7 **Ларин А.А.** Компьютерное автоматизированное проектирование пневматических шин легковых автомобилей / **А.А.Ларин, М.И. Лобас** // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАУ «ХАИ», 2011.– № 50.– С. 69-74.
- 8 **Ларін О.О.** Розробка багатшарової 3D комп'ютерної моделі пневматичної шини з урахуванням ортотропії її механічних властивостей / **О.О. Ларін, Ю.В. Арефін, О.І. Субочев, О.М. Ларін** // Вісник Севастопольського національного технічного університету, Серія:Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь: СевНТУ, 2011.– №121.– С. 102-105
- 9 Shiguo Rao Mechanical Properties and Failure Behavior of Cord/Rubber Composites / **Isaac M. Daniel, Emmanuel E. Gdoutos** // Applied Composite Materials, Volume 11, Issue 6.-2004.- P. 353-375.
- 10 Shih-Yen Huang The Tires Worn Monitoring Prototype System Using Image Clustering

Technology / **Yi-Chung Chen, Kuen-Suan Chen, Hui-Min Shih** // Recent Trends in Applied Artificial Intelligence. – 2013. – PP.626-634.

- 11 Cortona3D Viewer - интерактивный браузер для просмотра 3D сцен[Электронный ресурс] // Сайт Cortona3D . — Режим доступа : <http://www.cortona3d.com/ru/cortona3dviewer>

## References

- 1 **Clark S.K.** et al The pneumatic tire // National Highway Traffic Safety Administration. USA Dep. Of Transportation. – 2006. – P. 707.
- 2 **Dr. David Manas** Wear of Tires // Encyclopedia of Tribology. – 2013. – PP. 4073-4086.
- 3 **Miquet Charles** New test method for reproducible real-time tests of ADAS ECUs: "Vehicle-in-the-Loop" connects real-world vehicles with the virtual world // 5th International Munich Chassis Symposium 2014. – 2014. – P. 575-589.
- 4 Borhen Louhichi CAD/CAE integration: updating the CAD model after a FEM analysis / **Gad N. Abenhaim, Antoine S. Tahan** //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology // 2014.
- 5 **Кнороз В.И.** Work of the automobile tire / **В.И. Кнороз.** – М. : Transport, 1978. – 238 с.
- 6 **Бухин Б.Л.** Introduction to mehaniku pnevmaticheskikh tires / **Б.Л. Бухин.** - М. Himimya, 1988. - 224s.
- 7 **Larin A.A.** Computer aided design of pneumatic passenger car tires / **A.A. Larin, M.I. Lobas** // Public information and computer integrated technologies : Sat scientific . tr. - H.: Nat . Aerospace . Univ "HAI " 2011 . - Vol. 50, 2011 , 68-74 с.
- 8 **Larin A.A.** A development of the multilayer 3D computer model of the pneumatic tire subjected to the orthotropy of its mechanical properties / **A.A. Larin, Y. Arefin, O.I. Subochev, A.M. Larin** // News Sevastopol natsionalnogo tehnicnogo universitetu , sulfur : Mashinopriladobuduvannya that transport. - Sevastopol: SevNTU 2011. - No 121. - S. 102-105
- 9 Shiguo Rao Mechanical Properties and Failure Behavior of Cord/Rubber Composites / **Isaac M. Daniel, Emmanuel E. Gdoutos** // Applied Composite Materials, Volume 11, Issue 6.-2004.- P. 353-375.
- 10 Shih-Yen Huang The Tires Worn Monitoring Prototype System Using Image Clustering Technology / **Yi-Chung Chen, Kuen-Suan Chen, Hui-Min Shih** // Recent Trends in Applied Artificial Intelligence. – 2013. – PP.626-634.
- 11 Cortona3D viewer is a fast, interactive web 3D viewer for VRML files [Electronic resource] // Website Cortona3D . — Mode of access : <http://www.cortona3d.com/ru/cortona3dviewer>

Надійшла (received) 08.12.2014