

УДК 519.216.3:678

## АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ МІЦНОСТІ ГУМОКОРДНОГО РУКАВА, ЩО МАЄ ДОДАТКОВЕ ПОСИЛЕННЯ СПІРАЛЬНО НАМОТаниМ МЕТАЛЕВИМ ДРОТОМ

О.О. Ларін\*, к.т.н., доцент

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

### ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 15.06.2016

Пройшла рецензування: 18.07.2016

#### Ключові слова:

гумокордний рукав, гумові композити, міцність

### АНОТАЦІЯ

В роботі розглянуто задачу комп'ютерного моделювання міцності гумокордного рукава з додатковим посиленням спірално накрученим металевим дротом. Задача розв'язувалась в тривимірній нелінійній постановці із застосуванням методу скінчених елементів. Запропоновано оригінальну систему крайових умов, що дозволяє звести аналіз задачі до розрахунків лише сектору труби із певною кількістю представницьких секторів "спіралної симетрії", що існує в конструкції. Визначено характеристики напружено деформованого стану

**Вступ.** Напірні рукава та шланги (рис. 1 та рис. 2) застосовують для подачі під високим тиском різних рідин, газів, пару, пульпи, суспензій, абразивних сумішей, сипучих

матеріалів. Їх використовують в якості гнучких трубопроводів для з'єднання і компенсації взаємних переміщень елементів різних видів машин і устаткування в процесі роботи.



Рисунок 1 – Фотографії типових напірних гумових шлангів

Рукава виготовляються будь-якої довжини та діаметру, виходячи із специфіки діяльності відповідної машини та функціональних вимог що висуваються (рис. 2). Основні вимоги, що висуваються до напірних рукавів та шлангів є вимога щодо гнучкості, герметичності, широкому температурному діапазону роботи та, звичайно вимоги щодо забезпечення їх міцності і довговічності.

Для забезпечення окреслених вимог напірні рукава виготовляють з еластимірних матеріалів, що посилені кордом. Зазвичай, вони мають композитну багат шарову внутрішню будову, яка характеризується наявністю внутрішнього та інколи зовнішнього гумового шару, також наявності одного або декількох шарів текстильного чи металевих каркасу (рис. 3). Наявність каркасу дозволяє суттєво

підвищити міцність (і як наслідок підвищити припустимий в експлуатації тиску), а також забезпечити необхідну стійкість і радіальну жорсткість рукава. Звичайно, що для рукавів та шлангів, що працюють в умовах з відносно невеликим внутрішнім тиском застосовуються одношарове армування, а для підвищених тисків використовують багат шарове армування. Окремо слід розглянути рукава, що застосовуються в умовах надзвичайно високого тиску або із абразивними та сипучими матеріалами. В цьому випадку додатково гумову трубу посилюють зовнішньою спірално намоткою металевим дротом (рис. 3).



Рисунок 2 – Схематичне зображення внутрішньої будови напірних гумових шлангів



Рисунок 3 – Гумові рукава високого тиску, які мають додаткове посилення металевим дротом

Відмови гумових рукавів та шлангів є типовим явищем в сучасному машинобудуванні. В літературі наводяться дані щодо близько 30% всіх відмов в машинах, які мають гідравлічні системи приходиться на пошкодження гумових з'єднувальних шлангів [1]. З досліджень, що проведені іншими авторами відомо, що найпоширенішими типами відмов є пошкодження, що з'являються на поверхні [2–4] або між шарами [5]. Дослідження показали, що в багатошарових шлангах відносно слабка між-фазна міцність, і

в наслідок дії навантажень з'являються внутрішні початкові тріщини, які поступово переростають в зовнішній гумовий шар, що приводить до остаточного розриву.

Таким чином, важливими з науково-практичної точки зору є дослідження які спрямовані на визначення характеристик напружено-деформованого стану (НДС) гумових шлангів та рукавів, що формуються в експлуатації та дозволяють проводити оцінку їх міцності та надійності.

**Постановка задачі.** В даній роботі представлено дослідження закономірності формування НДС в гумовому шлангу, що посилений одним шаром текстильного корду, а також спіральним намотуванням металевим дротом. Відповідний рукав використовується

для перекачування пульпи та інших сумішей під високим тиском. Моделювання проводилось в тривимірні постановці із явним врахуванням наявності металевого дроту, що утворює зовнішнє додаткове армування. Розглядався сектор у 45 градусів.

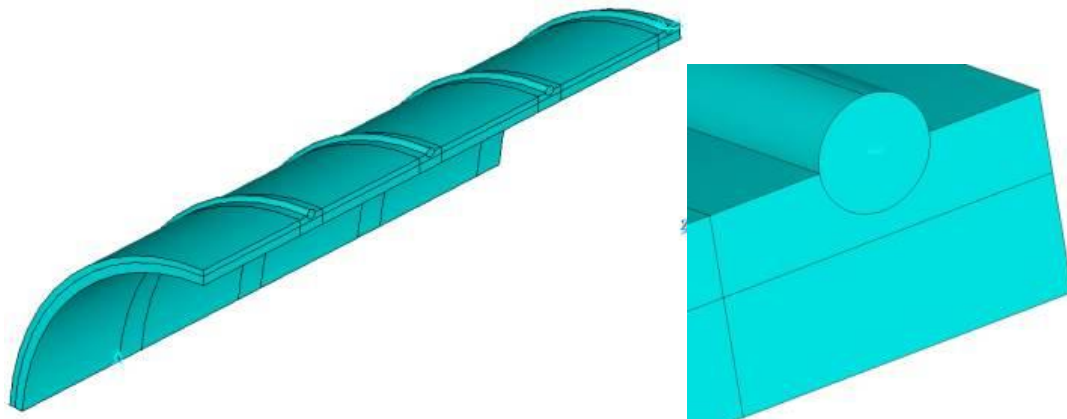


Рисунок 4 – Геометрична модель гумо-кордної труби, що досліджується

Аналіз НДС проведено в рамках застосування методу скінчених елементів. На рис.5 представлено скінчено-елементну сітку.

Моделювання проводилось із застосуванням гексаєдральних ізопараметричних елементів з 8 вузлами та 3 ступенями волі у вузлі.



Рисунок 5 – Скінчено-елементна модель

Дослідження проводилось нелінійній постановці, що припускає можливість великих деформацій. Гумова основа моделювалась із врахуванням можливої її гіперпружної поведінки відповідно до неогуківської моделі матеріалу. Внутрішній прошарок труби, що має

посилення текстильним кордом моделювалось неявно з завданням усереднених ортотропних властивостей. Для цього застосовувалась спеціальна технологія: в кожний скінчений елемент прошарку, що повинен мати відповідне кордне посилення було поміщено додатковий

елемент, який має лінійну мембранну ортотропну жорсткість, що розраховувалась відповідно до правила суміші (тобто жорсткість усереднювалась відповідно до об'ємної долі волокон корда у прошарку). Мембранна жорсткість додавалась у циліндричній системі координат відтворюючи таким чином особливості окружної намотки текстильного корду.

Спіральний металевий дріт, що моделювався окремим тілом, розглядався в рамках його контактної взаємодії з гумовою трубою, відповідно до технології моделювання контакту деформованих тіл з контактними парами типу "поверхня-поверхня".

Для коректно завдання граничних умов, як дозволять відтворити спіральну повторюваність частин труби на бічні поверхні накладались

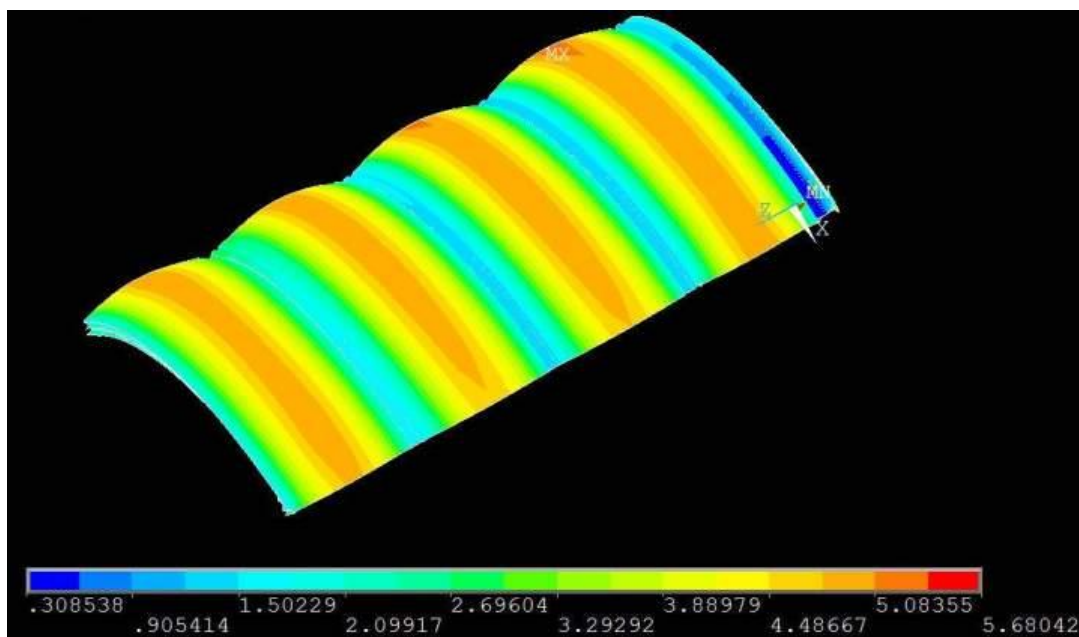
умови рівності переміщень вузлів скінчених елементів з урахуванням їх зміщення, що сформується в наслідок спірального кордного посилення (рис. 6). Крайні частини замикались аналогічними умовами самі на себе, утворюючи у такий спосіб нескінченно довгу трубу із спіральним посиленням. На торцеві поверхні (крайні окружні перетини) було накладено умови симетрії. Металевий корд на одному з країв був жорстко закріпленим з тим аби уникнути можливість просторового руху всієї системи, як твердого тіла. Моделювалось 4 умовні секції труби проте крайні секції не розглядались в подальшому оскільки мали спотворені в наслідок крайових ефектів результати. Навантаження прикладлось у вигляді рівномірно розповсюдженого тиску на зовнішню поверхню труби і складало 20 МПа.



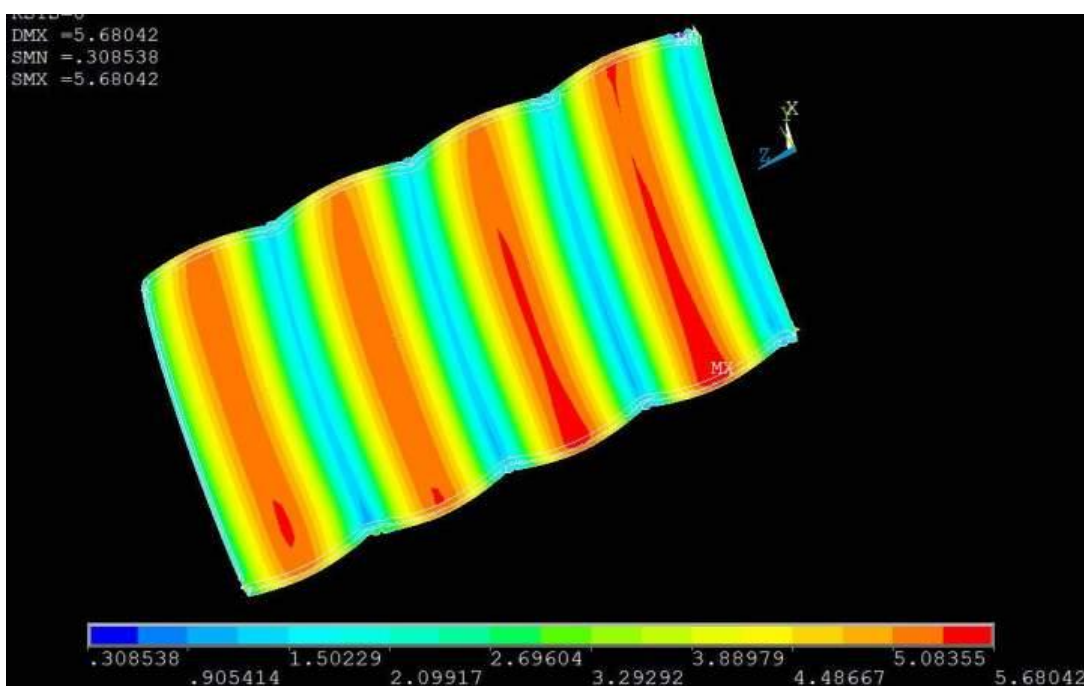
Рисунок 6 – Умови "спіральної" симетрії

**Аналіз результатів.** Результати розрахунків НДС представлені на рис. 7 -8. На рис. 7 наведено поля розподілу переміщень в трубі (зовнішній вид та вид з "середини" труби), що виникають при дії зазначеного вище навантаження. Числові дані приведені в мм. Аналіз наведених результатів показує, що

основна деформації труби формується в зонах між металевим кордом який виступає суттєвим обмеженням для деформування самої труби. Відкидаючи негативний прояв крайових ефектів, які пов'язані з жорстким завданням граничних умов, можна бачити, що максимальний прогин труби сягає 5 мм.



a)

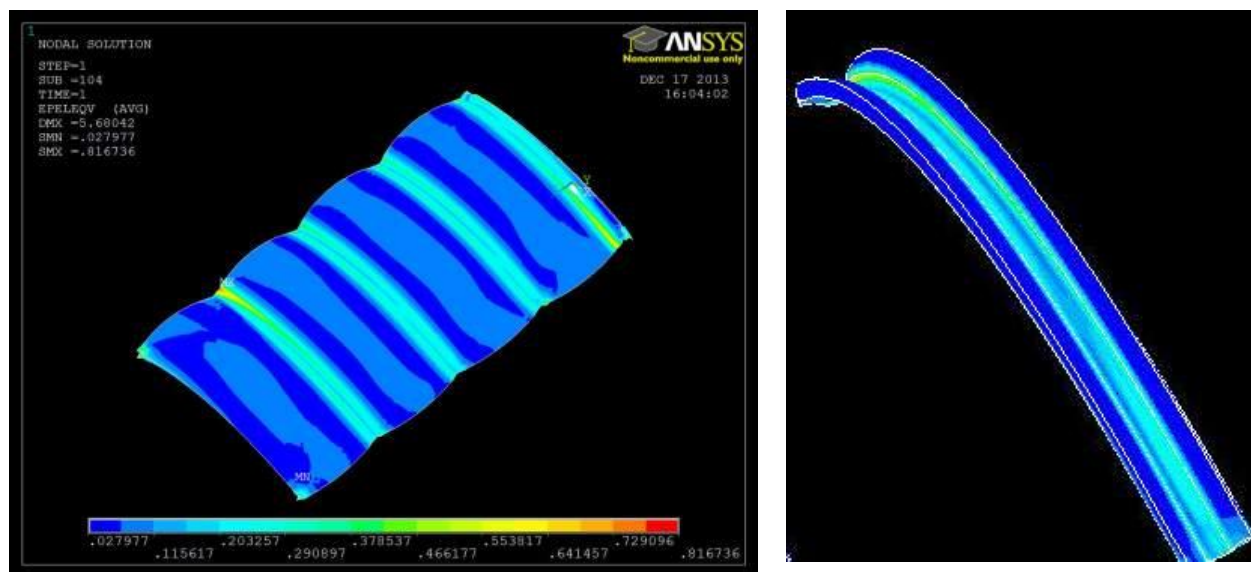


б)

Рисунок 7 – Розподіл переміщень по трубі: зовнішній вид (a) та вид з "середини" (б)

Напружений стан, який формується за такого деформування показано на рис. 8. Наведено головні напруження, що виникають в гумовій матриці труби. Результати представлені в МПа. Основна концентрація напружень виникає в місцях взаємодії металевого дроту та гумової труби. Максимальні напруження досягають 0,5 МПа (при визначенні цієї величини було відкинута крайові ефекти, тобто розглядався

представницький сектор в середині моделі). Для гумового матеріалу з якого виготовлена дана труби, границя міцності складає 10 МПа. Таким чином, дана конструкція має достатній запас міцності. Разом із тим, слід враховувати, що експлуатаційне навантаження є циклічним, що призводить до процесу накопичення втоми і здатне з часом викликати появу тріщин в місцях концентрації напружень.



а) б)  
Рисунок 8 – Розподіл головних напружень в гумовій матриці труби  
а) – загальний вид, б) – окремо виділена зона концентрації напружень

**Висновки.** В роботі розглянуто задачу комп'ютерного моделювання міцності гумокордного рукава з додатковим посилення спіралью накрученим металевим дротом. Відповідний рукав використовується для перекачування пульпи та інших сумішей під високим тиском. Задача розв'язувалась в тривимірній нелінійній постановці із застосуванням методу скінчених елементів. Визначено, що найбільш напруженими зонами в даній системі є місця контакту металевого дроту з гумовою трубою. Разом із тим система має достатній запас статичної міцності за експлуатаційних навантажень.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дружинин П. В. Диагностирование и прогнозирование остаточного ресурса рукавов высокого давления / П. В. Дружинин, М. Ю. Бабушкин // Техно-технологические проблемы сервиса. — 2013. — No. 3 (25).
2. Fedorko G. Failure analysis of irreversible changes in the construction of the damaged rubber hoses / G. Fedorko, V. Molnar, M. Dovica[et al.] // Engineering Failure Analysis. — 2015. — Vol. 58. — P. 31–43.
3. Cho J. . Fatigue life assessment of fabric braided composite rubber hose in complicated large deformation cyclic motion / J. . Cho, Y. H. Yoon, C. W. Seo, Y. G. Kim // Finite Elements in Analysis and Design. — 2015. — Vol. 100. — P. 65–76.
4. Cho J.-R. Large deformation analysis of anisotropic rubber hose along cyclic path by homogenization and path interpolation methods / J.-R. Cho, Y.-H. Yoon // Journal of Mechanical Science and Technology. — 2016. — Vol. 30, No. 2. — P. 789–795.
5. Kwak S.-B. Micro-damage formation of a rubber hose assembly for automotive hydraulic brakes under a durability test / S.-B. Kwak, N.-S. Choi // Engineering Failure Analysis. — 2009. — Vol. 16, No. 4. — P. 1262–1269.

## **АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ РЕЗИНОКОРДНОГО РУКАВА, КОТОРЫЙ ИМЕЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ УСИЛЕНИЕ СПИРАЛЬНО НАМОТАННЫМ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ПРОВОДОМ**

*А.А. Ларин, канд. техн. наук, доц.*

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина*

---

### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

резинокордный рукав, резиновые композиты, прочность

### **АННОТАЦИЯ**

В работе рассмотрена задача компьютерного моделирования прочности резинокордного рукава с дополнительным усилением спирально накрученным металлическим проводом. Задача развязывалась в трехмерной нелинейной постановке с применением метода законченных элементов. Предложена оригинальная система краевых условий, что позволяет провести анализ задачи к расчетам лишь сектору трубы с определенным количеством представительских секторов "спиральной симметрии", которая существует в конструкции. Определены характеристики напряженно деформированного состояния.

## **ANALYSIS OF OPERATIONAL STRENGTH OF RUBBER-CORD HOSE, WITH ADDITIONAL REINFORCEMENT OF SPIRALLY WOUND ON METAL WIRE**

*O.Larin, Cand. of Technical Sc., Docent*

*The National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine*

---

### **KEYWORDS**

rubber-cord hose, rubber composites, strength

### **ANNOTATION**

The article deals with the problem of computer modeling of rubber-cord hose with additional reinforcement of spirally wound on metal wire. The problem was solved in a three-dimensional nonlinear formulation, using the method of finished elements. An original system of boundary conditions is proposed. It allows analyzing the problem to the calculation of a hose sector assigning certain number of the "helical symmetry" sectors. The characteristics of the stress-strain state have been analyzed