

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора В. І. Дирди на дисертаційну роботу Юречка Василя Зіновійовича на тему **«Напружено-деформований стан пористих еластомерних матеріалів в умовах нелінійного деформування»**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

1. Актуальність теми дослідження

Пористі еластомерні матеріали, з яких виконані елементи різних деталей машин і механізмів, знайшли широке застосування в сучасному машинобудуванні. Обумовлено це такими факторами: вплив на властивості отриманого матеріалу, варіюючи його пористістю, розмірами і формою пор; зниження матеріалоемності конструкції; збереження високої міцності при експлуатації, маючи високі амортизаційні і демпферні властивості. При створенні подібних пористих еластомерних конструкцій застосовують методи раціонального проектування конструкцій у сполученні із чисельними дослідженнями їх напружено-деформованого стану. Більшість пористих еластомерних елементів мають складну геометричну форму, що ускладнює одержання точних аналітичних розв'язків. Тому, як правило, використовуються чисельні методи, основним з яких є метод скінченних елементів.

Складність отримання чисельних розв'язків пов'язана із слабкою стисливістю пористого еластомера, який має значення коефіцієнта Пуассона близьким до 0,5, а також наявністю деякого об'єму порожнин різної форми. Ці особливості пористих гумових матеріалів потребують використання спеціальних підходів до розрахунку параметрів напружено-деформованого стану пористих еластомерних елементів.

Слід відмітити й те, що однією з основних задач при проектуванні та виготовленні елементів механічних конструкцій із пористих матеріалів є визначення параметрів напружено-деформованого стану пористих матеріалів в умовах в'язкопружного та геометрично нелінійного деформування. Існує цілий ряд конструкцій із пористих матеріалів, розрахунок параметрів напружено-деформованого стану яких некоректно виконувати в лінійній

постановці. До числа таких відносяться конструкції, в процесі експлуатації яких порушується лінійний характер залежності між прикладеними навантаженнями і переміщеннями в силу значних деформацій матеріалу, а також реологічних характеристик матеріалу. Внаслідок цього виникає необхідність у врахуванні нелінійних умов деформування при розрахунку параметрів напружено-деформованого стану пористих еластомерів.

Таким чином, беручи до уваги усе вищесказане, можна вважати, що питання, які розглядаються в роботі, мають практичний інтерес, а тема дослідження є актуальною.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана відповідно до науково-дослідним держбюджетним темам Міністерства освіти і науки України: «Розробка математичної моделі розподілу напружень у важко навантажених зубчастих колесах і створення прогресивної технології їх виготовлення» (№ державної реєстрації 0113У000804) та «Аналітично-чисельні методи розв'язку задач механіки неоднорідних конструкцій на базі сучасних комп'ютерних технологій та візуалізації процесів» (№ державної реєстрації 0112У003061), які фінансувались Міністерством освіти і науки України, при виконанні яких автор дисертації був співвиконавцем.

3. Структура викладення результатів роботи

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел зі 180 найменувань (22 сторінки). Загальний обсяг роботи складає 134 сторінки, у тому числі 102 сторінки основного тексту, ілюстрованих 34 рисунками та 14 таблицями.

У *Вступі* дисертації обґрунтовується актуальність теми дослідження, формулюються мета та завдання роботи, визначаються об'єкт, предмет та методи досліджень, висвітлюються наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок автора в роботах, виконаних у співавторстві, наводиться апробація результатів дисертації та кількість публікацій, виконаних за темою дисертаційної роботи.

У *першому розділі* дисертації розглянуто основні підходи до врахування механічних властивостей пористості матеріалу в умовах нелінійного деформування. Під пористим матеріалом розуміють матеріал, який має деяку пористість – сукупну характеристику розмірів та кількості пор (порожнеч) у твердому тілі, які утворюються при його виготовленні чи експлуатації. Пористість є відносною величиною, яку можна розділити на три види: закриту, відкриту та загальну. Пори можуть бути різної форми: кульові, еліпсоїдні, дископодібні, голкоподібні, у формі багатогранників та інші.

У *другому розділі* дисертації представлено постановку задачі та співвідношення для побудови матриці жорсткості лінійного паралелепіпедного скінченного елемента, яка ґрунтується на варіації енергії пружної деформації з використанням узагальненого закону Гука для врахування жорстких зміщень скінченного елемента та інших негативних якостей, які пов'язані з появою фіктивних зсувних деформацій, – ефект «хибного» зсуву, а також реологічних властивостей і слабкої стисливості. Щоб усунути перераховані недоліки використовувалась запропонована професором В. В. Киричевським моментна схема скінченного елемента, яка полягає у введенні потрібної апроксимації: функцій полів переміщень, компонентів деформацій та функції зміни об'єму. Збіжність результатів, отриманих за наведеною схемою, була апробована для конструкцій з відомими аналітичними розв'язками, а також порівнянням з експериментальними даними.

У *третьому розділі* дисертації представлені співвідношення моментної схеми для врахування в'язкопружного та геометрично нелінійного деформування. Основний закон спадкової в'язкопружності представлявся в операторній формі Гука на основі принципу Больцмана-Вольтерра. Геометрична нелінійність враховувалася послідовним розв'язанням ряду лінійних задач з перерахуванням на кожному кроці за навантаженням коефіцієнтів матриці жорсткості всієї конструкції, при цьому розглядається нове положення вузлових точок деформованої конструкції. При розв'язанні геометрично нелінійних задач компоненти тензора скінченних деформацій представляються у вигляді суми лінійної та нелінійної частин. На основі рівнянь лінійної в'язкопружності для однорідного матеріалу з урахуванням знаходження пружних модулів пористої гуми виведені рівняння для розрахунку параметрів напружено-деформованого стану порожнистого

циліндра із пористої гуми під внутрішнім тиском та жорстким защемленням зовнішньої поверхні в умовах в'язкопружного деформування.

Чисельне дослідження напружено-деформованого стану пористих еластомерних інженерних конструкцій в умовах нелінійного деформування розглядалися у *четвертому розділі* дисертаційної роботи. Аналіз конструкцій базується на запропонованому підході та встановлює величину переміщень і розподілення напружень, які виникають при навантаженні пористої гумової труби, пористого гумового буфера, пористої гумової плити та гумовометалевої сейсмоопори при наявності шарів із пористої гуми. За результатами чисельного аналізу зроблено висновки про ефективність застосування розробленого підходу для дослідження параметрів напружено-деформованого стану пористих еластомерних матеріалів в умовах нелінійного деформування.

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень та висновків, сформульованих у дисертації

Вибір об'єкта дослідження здійснено на основі огляду і аналізу літературних джерел у галузі визначення параметрів напружено-деформованого стану пористих матеріалів. Достовірність наукових положень, результатів і висновків дисертаційної роботи забезпечується коректністю математичних постановок розглянутих задач, строгістю використання математичних методів, збіжністю отриманих чисельних результатів на основі моментної схеми скінченних елементів порівнянням із чисельними результатами на основі традиційної схеми скінченних елементів, а також з відомими аналітичними та експериментальними розрахунками.

5. Основні результати дисертації та їх наукова новизна

В дисертаційній роботі здобувачем вперше на основі моментної схеми скінченного елемента побудована матриця жорсткості лінійного паралелепіпедного скінченного елемента для пористого матеріалу; набули подальшого розвитку підходи на основі спадкової теорії Больцмана-Вольтерра до врахування в'язкопружних властивостей деформування пористого матеріалу з використанням моментної схеми скінченного

елемента; вперше в аналітичному вигляді отримано розв'язок задачі про деформацію порожнистого циліндра із пористого матеріалу з урахуванням реологічних особливостей матеріалу; вперше запропоновано підхід до врахування геометрично нелінійного деформування пористого матеріалу на основі моментної схеми скінченного елемента з нелінійним тензором деформацій.

6. Практичне значення одержаних результатів

Розроблено підхід до розв'язання статичних задач теорії пружності в тривимірній постановці для пористих матеріалів в умовах в'язкопружного і геометрично нелінійного деформування. На його базі створено пакет прикладних програм, який дозволяє визначати параметри напружено-деформованого стану пористих матеріалів в тривимірній постановці. Методика, яка містить розроблений підхід і пакет прикладних програм, дозволяє на стадії проектування отримати раціональні форму і розміри конструкції; вибрати потрібну марку матеріалу; потрібну пористість та розміри і форму пор; умови навантаження та закріплення.

Отримані в дисертаційній роботі В. З. Юречка результати можуть бути застосовані для визначення параметрів напружено-деформованого стану при розрахунку на міцність реальних промислових конструкцій із пористих еластомерних матеріалів, таких як амортизаційні та буферні пористі гумові елементи конструкцій.

7. Публікації та апробація

Робота пройшла досить повну апробацію на міжнародних і національних наукових конференціях та на наукових семінарах у провідних фахових установах. Основні результати за темою дисертації викладено в 15 опублікованих роботах: 7 статтях, серед яких 6 у фахових виданнях, 4 тезах доповідей та 4 матеріалів конференцій.

8. Зауваження

1. Як відомо, віброізолятори працюють в умовах вібрацій, тому доцільно було б порівняти розрахунки отримані в роботі у статичній постановці з відомими даними, отриманими у динамічній постановці .

2. Як правило, пори у гумових матеріалах мають сферичну форму, або близьку до неї, тому розрахунки для пор голкоподібної та дискової форми у гумових матеріалах можуть мати лише академічний характер.

3. У тексті дисертації є деякі некоректні терміни та словосполучення.

4. У висновках до дисертаційної роботи бажано було б зазначити певні рекомендації інженерам-конструкторам для проектування нових форм віброізолюючих елементів. Зазначити перспективи розвитку запропонованого підходу для більш детального вивчення поведінки пористих еластомерних елементів в умовах експлуатації.

Зазначені зауваження не знижують загальну наукову цінність дисертаційного дослідження та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

9. Висновок

На підставі аналізу дисертації, автореферату й опублікованих робіт з теми дисертаційної роботи вважаю, що В. З. Юречко є сформованим науковцем, здатним самостійно ставити й розв'язувати важливі задачі в області механіки деформівного твердого тіла. Можна резюмувати, що дисертаційна робота є цілісною завершеною науково-дослідною працею, а отримані в ній наукові результати дослідження параметрів напружено-деформованого стану пористих еластомерних конструкцій мають суттєве теоретичне та прикладне значення.

Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Структура, обсяг та оформлення роботи відповідають вимогам МОН України, а зміст і результати проведених у дисертації досліджень викладено стисло, логічно і аргументовано. Висновки відповідають меті та поставленим завданням.

Автореферат адекватно відбиває основний зміст дисертації, а наведені в авторефераті та дисертації публікації висвітлюють основні положення дисертаційного дослідження.

В цілому дисертаційна робота містить нові наукові результати, що забезпечують розв'язання важливої прикладної проблеми механіки деформівного твердого тіла, і відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України до кандидатських дисертацій, зокрема вимогам «Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор, Василь Зіновійович Юречко заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент:
доктор технічних наук, професор,
завідувач відділом механіки
еластомерних конструкцій гірничих
машин Інституту геотехнічної
механіки ім. М. С. Полякова
Національної академії наук України



В. І. Дирда