

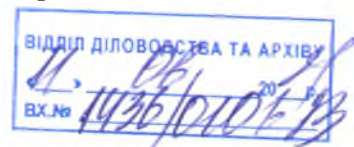
## ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н. проф. А. П. Дзюби  
на дисертаційну роботу **Столярової Анастасії Валеріївни**  
на тему «**Гомогенізація композиційного матеріалу з порожнистими  
транстропними волокнами**»,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань  
11 – Математика та статистика за спеціальністю 113 – Прикладна математика

**Актуальність обраної теми.** Композити з порожнистими волокнами набувають все більш широкого використання як конструкційні елементи різноманітніших пристроїв та механізмів. З інженерної практики та експериментальних досліджень, виявляється, що поведінка таких композитів має свої особливості при поперечному та поздовжньому деформуванні в порівнянні з матеріалами, армованими суцільними волокнами. Зважаючи на складність дослідження процесу спротиву таких композиційних матеріалів певним видам деформацій експериментальними методами, які крім того потребують ще і суттєвих матеріально-технічних затрат, раціональним підходом у цьому напрямі стає застосування математичного моделювання та аналітичних методів дослідження.

Такій підхід шляхом математичного моделювання процесів деформування, дозволяє отримати конкретні співвідношення для визначення ефективних пружних сталих композитів, підсилених порожнистими волокнами з урахуванням як механічних властивостей компонентів композиту та їх об'ємного вмісту в матеріалі конструкції, так і особливостей схем армування, умов з'єднання складових у композиті, вигляду наявних пустот в волокнах тощо. Одним із найпоширеніших підходів до опису механічних властивостей неоднорідних матеріалів є гомогенізація (усереднення) механічних властивостей композиту. Одним із методів гомогенізації є метод представницького об'ємного елемента, згідно якому з матеріалу композиту умовно виділяють певний характерний об'єм матеріалу, досліджують його напружено-деформований стан, а потім, використовуючи певні критерії узгодження, визначають ефективні механічні властивості композиційного матеріалу. Задача гомогенізації волокнистих композитів значно ускладнюється анізотропними властивостями його складових, зокрема наявністю порожнистих волокон. Таким чином, обрана здобувачем тема роботи є актуальною і такою, що має вагоме значення для вирішення сучасних проблем визначення



ефективних пружних характеристик односпрямовано-армованих волокнистих композитів, посиленних порожнистими волокнами.

**Наукова новизна отриманих результатів.** У дисертаційному дослідженні здобувачем отримано низку нових важливих наукових результатів. Зокрема:

- вперше отримані аналітичні співвідношення для визначення ефективних пружних сталих композитів з порожнистими волокнами, матеріали компонент яких характеризуються трансропними властивостями, у вигляді їх залежностей від механічних сталих матриці, волокна, об'ємного вмісту матеріалу волокна та порожнини в композиті;

- розвинено метод представницького об'ємного елемента для випадку гомогенізації властивостей односпрямованого композитного матеріалу з трансропною матрицею та порожнистим волокном при розтязі та зсуві з використанням кінематичних умов узгодження переміщень елементарної комірки та трансверсально-ізотропних компонентів композиту;

- новими є результати числових розрахунків та побудовані залежності пружних сталих композиту з порожнистими волокнами від об'ємного вмісту матеріалу порожнистих волокон в композиті;

- отримано компоненти напружено-деформованого стану трансропних складових досліджуваних композитів та проведено порівняльний характер їх характеристик та відповідного однорідного гомогенізованого матеріалу при рівномірних поздовжньому та поперечному розтягуванні та чистому поздовжньому та поперечному зсуві.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та їх достовірність.** Обґрунтованість та достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю математичних постановок задач, використанням апробованих законів та співвідношень механіки деформівного твердого тіла, використанням досконалого апарату математичного моделювання процесів деформування волокнистих композитів, а також порівнянням отриманих результатів з розрахунками за відомими формулами, що виражають залежність цих сталих від пружних характеристик ізотропних матеріалів складових композиту та об'ємної частки порожнистого волокна в композиційному матеріалі.

Обґрунтованість висновків та рекомендацій забезпечується тим, що вони безпосередньо впливають із отриманих аналітичних та числових результатів дисертаційної роботи.

Основні положення дисертаційної роботи апробовані виступами (та отримали підтримку) на наукових конференціях і семінарах різних рівнів.

У цілому можна вважати, що наукові положення, висновки та підходи, розвинуті в дисертації, є достатньо обґрунтованими та достовірними, оскільки ґрунтуються на глибокому порівняльному аналізі досліджуваних явищ та узгодженням отриманих результатів з роботами інших авторів;

**Практичне значення результатів дисертаційного дослідження.** Результати роботи можуть бути впроваджені у практику машинобудівних, будівельних, транспортних, аерокосмічних та інших підприємств, а саме, отримані у дисертації формули для ефективних пружних характеристик волокнистих композитів, армованих порожнистими волокнами, можна застосувати при проєктуванні конструкційних елементів, у яких використовуються такі матеріали. Результати роботи вже знайшли застосування в освітньому процесі Запорізького національного університету.

**Повнота викладу результатів дисертаційного дослідження в опублікованих працях.** Основні наукові результати роботи викладені у 7 публікаціях. Серед них: 2 статті опубліковані у наукових фахових виданнях України, 1 з яких у виданні, включеному до наукометричної бази Scopus; 1 монографія (надрукована одноосібно); 1 стаття – у зарубіжному виданні (матеріали міжнародної конференції); 3 тези доповідей – у збірниках матеріалів наукових конференцій. Апробація результатів дисертаційного дослідження підтверджується виступами на 7 наукових конференціях. Особистий внесок здобувача у публікаціях, надрукованих у співавторстві, детально розкритий у вступній частині дисертації.

**Аналіз змісту дисертації.** Дисертація Столярової А.В. містить анотацію, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел, чотири додатки. Загальний обсяг дисертації складає 138 сторінок, до числа яких входить список використаних джерел на 15 сторінках.

У вступі досить змістовно подано обґрунтування актуальності теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, надано відомості про зв'язок роботи з науковими темами, подано інформацію про апробацію результатів дослідження та їх висвітлення у наукових публікаціях, визначено особистий внесок здобувача у роботах, опублікованих у співавторстві.

Перший розділ подається у вигляді двох структурних підрозділів, перший з яких присвячений аналізу сучасного стану досліджень напружено-деформованого стану волокнистих композиційних матеріалів. Приділено увагу методам досліджень, основною метою яких є визначення ефективних пружних констант композитів, складові компоненти яких характеризуються такими властивостями як в'язкопружність, анізотропія тощо. У другій – зосереджено увагу на композитах, посилених волокнами з пустотами різних форм. Зокрема, проведено аналіз методів визначення ефективних пружних характеристик односпрямованих композиційних матеріалів з циліндричними порожнистими волокнами.

У другому розділі подано опис основних положень та припущень щодо застосування методу представницького об'ємного елемента для визначення основних пружних сталих композиційного матеріалу з порожнистими волокнами. Далі наведено розв'язок задачі гомогенізації при рівномірному поперечному розтягуванні та чистому поперечному зсуві. На основі застосування кінематичних умов узгодження переміщень транслопних компонентів елементарної комірки композиту та гомогенізованого транслопного матеріалу, отримано вирази для визначення ефективних поперечного модуля пружності та коефіцієнта Пуассона вказаних композитів як функцій пружних характеристик матеріалів його складових та об'ємного вмісту матеріалу волокна та порожнини у композиті.

Третій розділ присвячено розв'язанню задачі гомогенізації при рівномірному поздовжньому розтягуванні та чистому поздовжньому зсуві. Результатом цього розділу є вирази для визначення основних поздовжніх характеристик досліджуваних композитів: ефективних поздовжнього модуля зсуву, поздовжнього модуля пружності та коефіцієнта Пуассона.

У четвертому розділі наводяться обчислення за отриманими формулами для композиційних матеріалів як з ізотропними, так і з транслопними порожнистими волокнами. На прикладі композиту з ізотропними характеристиками складових, проведено порівняння числових розрахунків з обчисленнями за формулами інших авторів, що наведені у першому розділі.

Кожен з розділів завершується формулюванням проміжних висновків дослідження. У загальних висновках до дисертації наведено узагальнюючі результати роботи.

В цілому дисертація є завершеною науковою працею, яка виконана на високому науковому рівні, відповідає вимогам академічної доброчесності та

відображає розв'язання важливої науково-практичної задачі. Вона характеризується цілісністю і логічністю викладу матеріалу дослідження та оформлена відповідно до вимог Міністерства освіти та науки України, що висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

#### **Зауваження до дисертаційної роботи:**

1. Не оцінюється вплив можливої формозміни поперечного перерізу трубчастого (пустотілого) волокна, що може виникати в результаті різних коефіцієнтів Пуассона матеріалів волокна і матриці при їх спільному деформуванні.

2. Приймаючи до уваги порожнистість армуючого волокна, яке може зазнавати поздовжнього стиску при обмеженні радіального переміщення (і навіть зовнішнього тиску) матеріалом матриці, виникає питання про можливість втрати стійкості поверхні волокна, як тонкостінної труби (що не виникає при використанні суцільного волокна). Форма волокна може змінитись також під час виготовлення матеріалу в результаті надавлювання сусідніх волокон. Ці аспекти проблеми в дисертаційній роботі залишились поза увагою автора.

3. Викликають запитання результати, приведені на стор. 54 – стор. 65. Так, на стор. 54 дисертації наведена формула (2.47), де невідомі постійні  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  є множниками 4-х окремих доданків. Далі із (2.57) після підстановки (2.64) впливає  $C_1=0$ ; із (2.60), враховуючи, що  $S_3=0$  (див. стор. 58) впливає, що  $C_2=0$ , а останній абзац на стор. 65 вимагає, щоб  $C_3=C_4=0$ . Тобто, праві частини (2.46). (2.47) і далі (2.49). (2.52) тотожно дорівнюють нулю!?

4. Не зазначено, чи враховується об'єм пустот пустотілих волокон при обчисленні об'ємного вмісту.

5. Бажано було б привести узагальнення отриманих залежностей у вигляді методики для обчислення ефективних пружних сталей для довільних видів навантаження та схем укладання волокон.

Зазначені недоліки не стосуються актуальності проведених досліджень, наукової новизни, достовірності та практичної цінності отриманих результатів і тому не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи у цілому.

**Загальна оцінка роботи та висновок.** Дисертаційна робота є цілісною завершеною кваліфікаційною науковою працею, у якій розв'язана задача гомогенізації композитів з трансстропними матрицею та порожнистими

волокнами, що має вагоме теоретичне та практичне значення. Отримані результати та висновки повністю відповідають меті та поставленим завданням. Зміст роботи повністю відповідає спеціальності 113 – Прикладна математика. За актуальністю, змістом, науковою новизною, обґрунтованістю висновків, прикладним значенням отриманих результатів та відсутністю ознак порушення здобувачем академічної доброчесності, вважаю, що дисертаційна робота «Гомогенізація композиційного матеріалу з порожнистими транстропними волокнами» відповідає вимогам «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 167 від 6 березня 2019 року, а її авторка, Столярова Анастасія Валеріївна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – Прикладна математика.

Офіційний опонент:

Заслужений діяч науки  
і техніки України,  
професор кафедри теоретичної та  
комп'ютерної механіки  
Дніпровського національного  
університету імені Олеся Гончара,  
доктор технічних наук, професор

А. П. Дзюба

*Вчений секретар  
Вченої ради ДНУ*



*Т. В. Хорачен*