

*Голові разової СВР із захисту
дисертації Пілюгіна Є.Д.
д.т.н., проф. Колосову Д.Л.
офіційного опонента
д.т.н., проф. Вахрушевої В.С.*

ВІДГУК

Офіційного опонента, доктора технічних наук, професора кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів навчально-наукового інституту «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій **Вахрушевої Віри Сергіївни** на дисертаційну роботу **Пілюгіна Євгенія Дмитровича** «Вплив структуроутворення міжфазних границь скловолоконних армуючих елементів на механічні та експлуатаційні властивості композитних будівельних конструкцій», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

Відгук складено на основі всебічного та критичного аналізу тексту дисертації, опублікованих здобувачем наукових праць, а також документів, що підтверджують реалізацію та впровадження результатів дослідження.

Актуальність теми досліджень. Тема дисертаційної роботи є актуальною в контексті сучасного матеріалознавства та будівельної інженерії. Проблема довговічності армованих бетонних конструкцій безпосередньо пов'язана з корозійним руйнуванням сталевих армувань, що скорочує ресурс споруд та зумовлює високі експлуатаційні витрати. Застосування композитної скловолоконної арматури, стійкої до корозії, є одним із найперспективніших напрямів вирішення цієї проблеми, особливо для конструкцій, що експлуатуються в агресивних середовищах.

Разом з тим поведінка композитного армування визначається не властивостями окремого матеріалу, а роботою складної системи «волокно – матриця – міжфазна границя», найуразливішою ланкою якої за підвищених температур є полімерне сполучне. Кількісні дані про поведінку цієї системи в умовах термомеханічного навантаження, необхідні для нормування, у вітчизняній практиці фактично відсутні. Тому дисертаційна робота Пілюгіна Є.Д. є актуальною не лише з наукового, але й з практичного та економічного погляду.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати досліджень увійшли та були прийняті до уваги при оновленні освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство», а також до навчально-методичних розробок для підготовки магістрів і бакалаврів («Кваліметрія та контроль якості матеріалів і виробів», «Фізичні властивості і методи дослідження матеріалів», «Сучасні методи дизайну»). Тему дисертаційної роботи затверджено на засіданні Вченої ради Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (протокол № 15 від 24 вересня 2025 року).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень. Обґрунтованість і достовірність наукових положень забезпечується застосуванням сучасних методів дослідження та обчислювальної техніки при одержанні й обробці результатів, достатнім обсягом експериментів, а також узгодженістю даних, отриманих незалежними методами: оптичною металографією, растровою електронною мікроскопією, EDX – аналізом та чисельним моделюванням. Результати мікроструктурних досліджень зіставлено з даними механічних випробувань, що підвищує достовірність сформульованих висновків.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна роботи полягає у системному дослідженні взаємозв'язку між структуроутворенням міжфазних границь волокно – матриця, елементним складом компонентів та

комплексом фізико-механічних властивостей композитного армування залежно від об'ємної частки волокна й температури. У роботі уперше проведено комплексне порівняльне дослідження еволюції мікроструктури сталевोї та скловолоконної арматури при нагріванні за кривою ISO 834; уперше на основі RVE – моделювання визначено ефективні інженерні константи для дев'яти комбінацій скловолокно/матриця; уперше методами електронної мікроскопії та EDX – аналізу кількісно охарактеризовано розподіл хімічних елементів на міжфазних границях у трьох станах. Набули подальшого розвитку аналітичні моделі термомеханічної деградації властивостей GFRP – арматури та встановлення раціональних діапазонів об'ємного вмісту волокон за критерієм термомеханічної сумісності з бетоном.

Практичне значення результатів роботи. Практична цінність роботи визначається можливістю безпосереднього використання її результатів у проектній практиці. Сформована порівняльна база даних властивостей сталевої та дев'яти варіантів скловолоконної арматури дозволяє обґрунтовано обирати тип армування залежно від умов експлуатації. Встановлені критичні температурні межі деградації дають підстави для призначення товщини захисного бетонного шару та засобів вогнезахисту, а верифіковані скінченноелементні моделі – для чисельної оцінки вогнестійкості конструкцій. Результати роботи впроваджено у виробничу діяльність ТОВ «Сінерджі Ер Енд Ді» та в освітній процес НТУ «Дніпровська політехніка».

Аналіз основного змісту роботи. У першому розділі представлено комплексний огляд сучасного стану досліджуваної проблеми, який включає аналіз наукової літератури, міжнародних та вітчизняних нормативних документів і основних концепцій у галузі сталевого й композитного армування. На основі критичного аналізу визначено недостатньо вивчені питання та сформульовано завдання дослідження.

Другий розділ присвячено характеристиці об'єктів і методів дослідження. Обґрунтовано вибір термічно зміцненої сталеві арматури класу A500C та композитної скловолоконної арматури, наведено їх склад, архітектуру й технологію виготовлення. Детально описано методики механічних випробувань, температурних випробувань, чисельного моделювання в ANSYS, а також оптичної та растрової електронної мікроскопії з EDX – аналізом.

У третьому розділі виконано моделювання армованих бетонних конструкцій у термомеханічному полі. Побудовано аналітичні моделі термомеханічної та втомної деградації властивостей GFRP – арматури, а методом скінченних елементів досліджено температурне поле та термомеханічну поведінку залізобетонного зразка при нагріванні за стандартною кривою ISO 834. Показано, що бетонний захисний шар забезпечує лише тимчасове сповільнення прогріву арматури, а критична температура деградації композитної арматури досягається раніше, ніж для сталі.

Четвертий розділ містить основний обсяг експериментальних результатів. Установлено концентричну зональну будову термозміцненої арматури A500C у стані поставки та однорідну будову композитної арматури. Виконано порівняльні випробування на статичний стиск кубічних зразків бетону класу B30: середня міцність склала 39,3 МПа (без арматури), 40,5 МПа (сталева арматура) та 41,2 МПа (скловолоконна арматура), що свідчить про визначальну роль бетонної матриці при осьовому стиску. Дослідження впливу високотемпературного нагрівання виявило кардинально відмінні механізми деградації двох типів арматури, а EDX – аналіз дозволив кількісно встановити карбонізацію полімерної матриці як визначальний механізм втрати властивостей композиту.

Оцінка публікацій автора. За темою дисертації опубліковано 9 наукових праць, серед них 4 статті у наукових фахових виданнях України категорії Б та 5 тез доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях. Публікації

повною мірою відображають основні положення та результати дисертаційної роботи.

Оцінка структури і обсягу роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (112 найменувань) та додатків. Загальний обсяг роботи становить 170 сторінок, у тому числі 48 рисунків і 14 таблиць. Структура роботи є логічною та відповідає поставленим меті й завданням. Робота містить достатню кількість ілюстративного матеріалу, що свідчить про її цілісність і завершеність.

Відсутність порушень академічної доброчесності. За результатами перевірки дисертаційної роботи на платформі Plag.ua (показник подібності – 13 %) порушень академічної доброчесності не виявлено. Дисертація є результатом самостійних досліджень здобувача; запозичення супроводжуються посиланнями на відповідні джерела.

Зауваження та дискусійні положення. За загального позитивного враження від роботи вважаю за доцільне висловити такі зауваження:

1. У роботі досліджено дев'ять комбінацій армувального матеріалу (три типи скла × три типи полімерної матриці), проте не наведено достатнього обґрунтування, чому обрано саме ці склади і не розглянуто інших поширених варіантів композитного армування (зокрема базальтового волокна або поліефірних матриць).

2. Експериментальні випробування виконано на кубічних зразках із центрально розташованим стрижнем за схемою осьового стиску. Перенесення встановлених закономірностей на елементи конструкцій які працюють на згин (балки, плити), у яких арматура сприймає переважно розтягувальні зусилля, потребує додаткового наукового обґрунтування або відповідного обмеження.

3. Стабільність міжфазної зони оцінено після 28-добової витримки композитної арматури у складі бетонних зразків. Для обґрунтованого висновку

про експлуатаційну надійність композитного армування бажаними є дані триваліших випробувань у лужному середовищі бетону.

4. Метод EDX – аналізу дає напівкількісні результати, особливо при визначенні легких елементів (вуглець, кисень). У роботі доцільно було зазначити похибку визначення концентрацій цих елементів, що підвищило б коректність кількісних оцінок.

5. Потребує уточнення, чи враховувалася анізотропія коефіцієнта теплового розширення композиту (у поздовжньому та поперечному напрямках) при оцінці критерію термомеханічної сумісності скловолоконної арматури з ізотропною бетонною матрицею.

Наведені зауваження не мають принципового характеру, не впливають на загальну якість роботи та її позитивну оцінку.

Загальний висновок по дисертаційній роботі. Вважаю, що вказані зауваження не мають принципового характеру, а дисертаційна робота Пілюгіна Євгенія Дмитровича «Вплив структуроутворення міжфазних границь скловолоконних армуючих елементів на механічні та експлуатаційні властивості композитних будівельних конструкцій», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 «Матеріалознавство», є завершеним науковим дослідженням, яке вирішує актуальну задачу підвищення ефективності застосування скловолоконної арматури у бетонних конструкціях шляхом встановлення залежності між структуроутворенням міжфазних границь волокно–матриця та комплексом механічних і експлуатаційних властивостей армованих конструкцій.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені наказом МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої

ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор Пілюгін Євгеній Дмитрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор
кафедри матеріалознавства та обробки
матеріалів навчально-наукового інституту
«Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури» Українського
державного університету науки і технологій

Віра ВАХРУШЕВА