

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор

Національного технічного університету

«Дніпровська політехніка»

Артем ПАВЛИЧЕНКО

14 липня

2026 р.



ВИСНОВОК

**Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів
дисертації 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**

Витяг

з протоколу № 20 засідання кафедри конструювання, технічної
естетики і дизайну від «03» липня 2026 року

Присутні: Головуючий на засіданні к.т.н., доцент Зіборов К.А. декан механіко-машинобудівного факультету, д.т.н., професор, завідувач кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Лаухін Д.В., д.т.н., професор, декан факультету Інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Українського державного університету науки і технологій Бекетов О.В., д.т.н., професор Директор Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ Кононенко Г.А., д.т.н., професор кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Грищак В.З., к.т.н., доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Федоряченко С.О., к.т.н., доцент кафедри медичної та біомедичної інженерії Слупська Ю.С., к.т.н., доцент кафедри будівництва геотехніки і геомеханіки Дадіверіна Л.М., к.т.н., доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства Козечко В.А., к.т.н., доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Ротт Н.О., к.т.н., доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Довгаль Д.О., к.т.н., доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Мацюк І.М., к.т.н., доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Федоскіна О.В., асистент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Твердохліб О.М., асистент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Гаркавенко Д.В., старший викладач кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Вернер І.В., асистент кафедри загальної та структурної геології Бодряго Є.А.

Серед присутніх 3 докторів технічних наук і 4 кандидатів технічних наук фахівці зі спеціальності, з якої виконувалась дисертація».

Порядок денний: Обговорення дисертаційного дослідження аспіранта кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Пілюгіна Євгенія Дмитровича «Вплив структуроутворення міжфазних границь скловолоконних армуючих елементів на механічні та експлуатаційні властивості композитних будівельних конструкцій», поданого на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Наукові керівники:

доктор технічних наук, професор кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну НТУ «Дніпровська політехніка» Лаухін Дмитро Вячеславович;

кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну НТУ «Дніпровська політехніка» Федоряченко Сергій Олександрович

Дисертація виконувалась на кафедрі конструювання, технічної естетики і дизайну НТУ «Дніпровська політехніка»

Тема дисертації затверджена на засіданні Вченої ради Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (протокол № 15 від 24 вересня 2025 року).

Виступили:

Здобувач Пілюгін Є.Д. представив презентацію за основними положеннями дисертації «Вплив структуроутворення міжфазних границь скловолоконних армуючих елементів на механічні та експлуатаційні властивості композитних будівельних конструкцій», поданого на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Доброго дня. Шановний голову і шановні члени наукового семінару.

До Вашої уваги надається дисертаційна робота Євгенія ПІЛЮГІНА на тему: «Вплив структуроутворення міжфазних границь скловолоконних армуючих елементів на механічні та експлуатаційні властивості композитних будівельних конструкцій», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD). Наукові керівники роботи: професор кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» доктор технічних наук, професор Дмитро ЛАУХІН, доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» кандидат технічних наук Сергій ФЕДОРЯЧЕНКО.

Мета роботи – Наукове обґрунтування та експериментально-теоретичні засади застосування композитної скловолоконної арматури у залізобетонних будівельних конструкціях за умов механічного та термічного навантаження.

Предмет дослідження – Взаємозв'язок між структурою міжфазних границь скловолоконних армуючих елементів, хімічним складом компонентів та механічними й експлуатаційними властивостями армованих бетонних конструкцій під дією статичних навантажень і високотемпературних напружень. У роботі було використано сучасні методи дослідження структури та властивостей матеріалів, а саме: кількісний та якісний металографічний аналіз, растрова електронна мікроскопія із застосуванням EDX аналізу, механічні випробування та статистичний аналіз масивів експериментальних даних? чисельне моделювання.

Робота складається з чотирьох розділів. Перший розділ присвячено аналізу стану питання та огляду літератури, другий — чисельному моделюванню композитних матеріалів, третій — експериментальним дослідженням залізобетонних зразків, четвертий — мікроструктурному аналізу арматурних елементів до та після термічного впливу.

Актуальність дослідження обумовлена широким застосуванням залізобетонних конструкцій у будівництві, зокрема в агресивних середовищах, де сталева арматура піддається корозійному руйнуванню. Альтернативою є неметалева композитна арматура — зокрема склопластикова (GFRP), яка характеризується високою корозійною стійкістю та малою вагою. Разом з тим поведінка GFRP-арматури за високих температур та при термомеханічному навантаженні залишається недостатньо вивченою, що стримує широке впровадження цього матеріалу у будівництві.

Таким чином, для досягнення поставленої мети у роботі було вирішено наступні задачі:

1. Провести комплексний аналіз мікроструктури та хімічного складу міжфазних границь сталевих арматур класу A500C і композитної скловолоконної арматури у вихідному стані методами металографічного аналізу, скануючої електронної мікроскопії та EDX-аналізу.
2. Дослідити вплив високотемпературного нагріву на еволюцію мікроструктури, фазовий та хімічний склад міжфазних границь сталевих та скловолоконної арматури.
3. Визначити методом чисельного моделювання ефективні інженерні константи для дев'яти комбінацій скловолокно–матриця при об'ємному вмісті волокон 1–70% та температурах 20–230 °C, а також встановити раціональний діапазон об'ємного вмісту за критерієм термомеханічної сумісності скловолоконної арматури з бетонною матрицею.
4. Методом скінчених елементів виконати моделювання температурного поля та термомеханічної поведінки залізобетонних конструкцій із сталевих та скловолоконною арматурою в ANSYS Workbench при нагріванні за кривою ISO 834 з визначенням критичних температурних меж деградації несучої здатності та оцінкою захисної функції бетонного шару.
5. Провести експериментальні випробування на стиск бетонних зразків класу B30 зі сталевих та скловолоконною арматурою, встановити вплив типу армування на несучу здатність та характер руйнування конструктивних елементів, і на основі отриманих результатів виконати

порівняльний аналіз ефективності їх застосування в умовах статичного та термічного навантаження.

У першому розділі на підставі аналізу літературних джерел встановлено, що для армування залізобетонних конструкцій було обрано два типи арматури: сталеву періодичного профілю класу A500C діаметром 14 мм та скловолоконну арматуру аналогічного діаметру. Арматура класу A500C виготовляється методом термомеханічного зміцнення і має тризонну структуру поперечного перерізу: зовнішня зона з мартенситною структурою, перехідна зона з бейнітом та центральна зона з ферито-байнітною структурою.

У другому розділі виконано чисельне моделювання властивостей GFRP на рівні мікроструктури. У середовищі ANSYS Material Designer було побудовано дев'ять моделей RVE за трьома типами волокна (E-, AR- та S-скло) та трьома типами полімерної матриці (вінілестерна, бензоксазинова та епоксидна). Модель являє собою тривимірний кубічний елемент з волокнами, паралельними осі Z; параметри варіювали: об'ємна частка волокна V_f від 1 до 70%, температура від 20 до 230 °C.

За результатами розрахунку отримано таблицю пружних констант для всіх дев'яти комбінацій, з яких виділено дві найбільш перспективні. На основі аналізу графіків коефіцієнта теплового розширення встановлено оптимальне значення V_f : 24% для AR/E-скла та 17% для S-скла.

Термомеханічне моделювання бетонного кубу армованого різними типами арматур проводилось за стандартом ISO 834. Розрахунки показали, що критична температура 460 °C на рівні арматури досягається через 30 хвилин впливу пожежі, що дає запас 15–20 хвилин порівняно з початком суттєвої термічної деградації вінілестерної матриці (починається при температурі склування $T_g \approx 120$ °C). Аналіз напружено-деформованого стану показав, що гранична деформація бетону $\epsilon_{s,lim} = 0,0035$ досягається раніше, ніж настає критична деградація скловолоконної арматури, що свідчить про достатній рівень безпеки конструкції.

У третьому розділі проведено експериментальні дослідження. Зразки виготовлялись у вигляді кубів бетону B30 розміром 100×100×100 мм з арматурним стержнем діаметром 14 мм вдовж осі куба. Виготовлялось два типи зразків: з відкритою арматурою (без захисного шару) та з захисним шаром 25 мм. Випробування на стиск показали, що зразки зі скловолоконною арматурою демонструють найвище значення міцності, а вплив типу арматури в цілому не є вирішальним — провідну роль відіграє матриця бетону. Характер руйнування у всіх зразках подібний: вертикальні та похилі тріщини, відколювання бокових фрагментів.

Перевірку розподілу температури проведено на експериментальному стенді з нагрівом за ISO 834. Термопари розміщувались на поверхні та в центрі зразка; експериментальні дані добре узгоджуються з результатами чисельного моделювання. Після термічного впливу міцність зразків знижується у десятки разів; візуально спостерігаються тріщини та пори в бетонній матриці.

Четвертий розділ присвячено мікроструктурному аналізу. Оптична мікроскопія сталі A500C у вихідному стані підтвердила тризонну структуру:

зовнішня зона мартенситу, перехідна зона байніту, центральна зона ферито-байнітної суміші. Після нагріву мікроструктура сталі стає однорідною ферито-перлітною, спостерігається знеуглецювання поверхневого шару; міцність знижується в 2,5–3 рази.

Мікроструктура GFRP у вихідному стані характеризується рівномірним розподілом волокон з одиничними порами та локальними зонами збагачення полімером. Діаметр волокон становить 22–35 мкм, найбільш часто зустрічаються волокна діаметром 26–30 мкм. Сканувальна електронна мікроскопія у вихідному стані виявила зони змінної щільності волокон, окремі ділянки з чистою матрицею та точкові дефекти на межі волокно-матриця.

Енергодисперсійний рентгенівський аналіз сталі показав рівномірний розподіл елементів по перерізу; виявлено сульфідні включення по межах зерен. Основні елементи в GFRP-арматурі: волокно насичене Si та O, матриця — переважно C. Після нагріву GFRP-арматура зазнає повного руйнування полімерної матриці: спостерігаються пори та тріщини вздовж меж волокно-матриця, а хімічна карта підтверджує повну деградацію матеріалу.

Основні висновки наведені на слайдах.

Після закінчення презентації Пілюгін Є.Д. присутніми на захисті фахівцями були поставлені наступні запитання:

Кандидат технічних наук, доцент Козечко В.А. к.т.н. за спеціальністю 05.02.01, доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства.

У чому полягає наукова новизна дисертаційної роботи?

Здобувач Пілюгін. Є.Д.

Дякую за запитання. Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше визначено ефективні пружні та термічні константи дев'яти варіантів композитної арматури на основі трьох типів скловолокна та трьох типів полімерних матриць шляхом чисельного моделювання в програмному середовищі ANSYS. Також досліджено особливості формування міжфазних границь у сталевій та композитній арматурі, а також встановлено механізми деградації композитної арматури під впливом високих температур. Зокрема, встановлено, що основні структурні зміни пов'язані з деградацією полімерної матриці, тоді як армувальні волокна значною мірою зберігають свою структуру. Крім того, результати проведених досліджень можуть бути використані як наукове підґрунтя для розроблення в Україні нормативної бази щодо методів випробування та оцінювання властивостей композитної арматури, оскільки на сьогодні національні стандарти у цьому напрямі практично відсутні, а під час виконання роботи використовувалися міжнародні та чинні стандарти для сталевих арматур.

Кандидат технічних наук, доцент Козечко В.А. к.т.н. за спеціальністю 05.02.01, доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства.

Які механічні властивості композитної арматури досліджувалися у роботі та чому для аналізу були обрані саме ці характеристики?

Здобувач Пілюгін. Є.Д.

Дякую за запитання. У роботі досліджувалися найбільш важливі механічні та експлуатаційні властивості як сталеві, так і композитної арматури. Для сталеві арматури визначалися характеристики міцності при розтягу, твердість та міцність зчеплення з бетоном. Для композитної арматури досліджувалися міцність при розтягу, адгезійні властивості, тобто міцність зчеплення з бетоном, лугостійкість, а також поведінка матеріалу під впливом підвищених температур. Саме ці характеристики є визначальними для оцінки працездатності арматури в залізобетонних конструкціях і дозволяють комплексно оцінити можливість заміни традиційної сталеві арматури композитною.

Кандидат технічних наук, доцент Козечко В.А. к.т.н. за спеціальністю 05.02.01, доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства.

Чим обґрунтовано вибір саме цих механічних властивостей для дослідження? Чому, наприклад, не визначалися такі характеристики, як ударна в'язкість?

Здобувач Пілюгін. Є.Д.

Дякую за запитання. Вибір саме цих характеристик обумовлений умовами роботи арматури в залізобетонних конструкціях. Основне навантаження арматура сприймає на розтяг, тоді як бетон працює переважно на стиск. Саме тому однією з основних характеристик, що досліджувалася, була міцність при розтягу. Крім того, важливою є міцність зчеплення арматури з бетоном, оскільки від неї залежить ефективність їхньої спільної роботи в конструкції. Для композитної арматури також досліджувалася лугостійкість, оскільки бетон має лужне середовище, яке протягом тривалої експлуатації може впливати на полімерну матрицю та міжфазну взаємодію волокон із матрицею, що призводить до зниження механічних властивостей матеріалу. Окрему увагу було приділено дослідженню поведінки композитної арматури під впливом високих температур, оскільки робота спрямована на оцінку можливості її застосування в конструкціях з урахуванням вимог пожежної безпеки та визначення меж її працездатності після термічного впливу.

Кандидат технічних наук, доцент Козечко В.А. к.т.н. за спеціальністю 05.02.01, доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства.

Якими критеріями Ви керувалися при виборі композитної арматури для проведення досліджень? Чим обґрунтовано вибір саме цього виду композитної арматури?

Здобувач Пілюгін. Є.Д.

Дякую за запитання. Вибір композитної арматури здійснювався з урахуванням її поширеності та перспектив застосування у сучасному будівництві. На сьогодні існує значна кількість видів композитної арматури, зокрема склокомпозитна, базальтокомпозитна, вуглецевокомпозитна, а також гібридні матеріали з різними типами поверхні та армувальних волокон. Для дослідження було обрано саме склокомпозитну арматуру, оскільки вона є найбільш поширеною на ринку та має оптимальне поєднання механічних і

експлуатаційних властивостей. Вона характеризується високою корозійною стійкістю, значною міцністю при розтягу та низкою переваг порівняно зі сталеву арматурою. Водночас її недоліком є нижча міцність при роботі на згин і чутливість до високотемпературного впливу, що й стало предметом даного дослідження. Як еталон для порівняння була обрана термічно зміцнена сталева арматура класу А500С, оскільки вона є найбільш поширеним видом арматури, що застосовується в сучасному залізобетонному будівництві України.

Доктор технічних наук, професор, Кононенко Г. А. д.т.н. за спеціальністю 05.02.01, Директор Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ Кононенко Г.А.

У чому полягає практична значущість дисертаційної роботи? Чи маєте Ви акт впровадження результатів дослідження?

Здобувач Пілюгін. Є.Д.

Дякую за запитання. На сьогодні результати дисертаційної роботи впроваджено як в освітній, так і у виробничий процес. Зокрема, результати дослідження використані під час підготовки трьох навчально-методичних розробок, що підтверджується відповідним актом впровадження. Крім того, окремі результати дисертаційної роботи впроваджено у виробничу діяльність ТОВ «Єврспейс», що також підтверджується відповідним актом впровадження.

Практична значущість роботи полягає у формуванні порівняльної бази механічних і термічних властивостей сталеву арматури А500С та дев'яти варіантів GFRP-композитів, яка може бути використана при виборі матеріалів для армування залізобетонних конструкцій залежно від умов їх експлуатації. Крім того, визначено критичні температури втрати експлуатаційних властивостей композитну арматури, що дозволяє більш обґрунтовано призначати товщину захисного бетонного шару та засоби вогнезахисту. Розроблені та верифіковані скінченноелементні моделі можуть використовуватися для чисельної оцінки поведінки армованих бетонних конструкцій в умовах високотемпературного впливу. Отримані результати електронно-мікроскопічних та EDX-досліджень можуть бути використані виробниками композитну арматури для вдосконалення технології її виготовлення, а також під час розроблення нормативних документів щодо застосування композитну арматури у будівництві.

Доктор технічних наук, професор, Кононенко Г. А. д.т.н. за спеціальністю 05.02.01, Директор Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ Кононенко Г.А.

Яка методика використовувалася для визначення діаметра армувальних волокон у композитній арматурі?

Здобувач Пілюгін. Є.Д.

Дякую за запитання. Визначення діаметрів армувальних волокон проводилося за електронно-мікроскопічними знімками. На першому етапі

було виконано вимірювання діаметрів окремих волокон безпосередньо на мікрофотографіях. Для подальшого кількісного аналізу використовувалося програмне забезпечення ImageJ. Зображення було переведено у бінарний формат, після чого за допомогою функції Analyze Particles визначено площинну частку волокон і полімерної матриці, а також розраховано середній діаметр волокон. На основі отриманих даних побудовано гістограму розподілу діаметрів волокон, що дозволило оцінити їх геометричні характеристики та однорідність структури композитної арматури.

Доктор технічних наук, професор, Кононенко Г. А. д.т.н. за спеціальністю 05.02.01, Директор Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ Кононенко Г.А.

Прошу охарактеризувати публікаційну апробацію результатів дисертаційної роботи. Скільки наукових публікацій підготовлено за темою дисертації та чи є серед них публікації, виконані у співавторстві з науковими керівниками?

Здобувач Пілюгін. Є.Д.

Дякую за запитання. За темою дисертаційної роботи на сьогодні опубліковано чотири наукові статті. Дві з них підготовлено у співавторстві з моїм попереднім науковим керівником, який здійснював керівництво роботою на початковому етапі дослідження. Минулого року було призначено двох нових наукових керівників, під керівництвом яких робота продовжується. Ще дві статті опубліковано мною одноосібно. Основні результати дисертаційного дослідження відображені в зазначених публікаціях.

Кандидат технічних наук, доцент Зіборов К.А., к.т.н. за спеціальністю 05.02.09, декан механіко-машинобудівного факультету.

Прошу пояснити, чим відрізняються представлені на слайді 11 RVE-моделі. Чи виконувалися дослідження для всіх дев'яти моделей, чи для подальшого аналізу було обрано одну з них?

Здобувач Пілюгін. Є.Д.

Дякую за запитання. На слайді представлено дев'ять RVE-моделей, що відповідають різним комбінаціям трьох типів скловолокна та трьох типів полімерних матриць. Для кожної з цих моделей були визначені ефективні пружні та термічні характеристики матеріалу. Однак для подальшого чисельного моделювання було обрано модель на основі AR-скловолокна з вінілестерною матрицею, оскільки саме така композитна арматура використовувалася під час натурних експериментальних досліджень. Це дозволило забезпечити коректне порівняння та підтвердити збіжність чисельних і експериментальних результатів. Надалі для обраної моделі було виконано розрахунок температурного поля в модулі Transient Thermal, після чого отриманий розподіл температур використовувався як вихідні дані для статичного розрахунку напружено-деформованого стану конструкції.

Кандидат технічних наук, доцент Зіборов К.А., к.т.н. за спеціальністю 05.02.09, декан механіко-машинобудівного факультету.

Яку конкретну науково-практичну задачу вирішує дисертаційна робота? У чому полягає наукова новизна постановки цієї задачі?

Здобувач Пілюгін. Є.Д.

Дякую за запитання. Основною науково-практичною задачею дослідження було встановлення особливостей поведінки композитної арматури в залізобетонних конструкціях за умов високотемпературного впливу, зокрема під час пожежі. Для цього було виконано комплекс експериментальних і чисельних досліджень. Отримані результати показали, що за одночасної дії механічного навантаження та високої температури руйнування конструкції, як правило, ініціюється в бетоні, після чого втрачає несучу здатність арматура. Водночас за дії лише високої температури без зовнішнього механічного навантаження першочергово відбувається деградація полімерної матриці композитної арматури, що призводить до суттєвого зниження її механічних властивостей і, як наслідок, погіршення спільної роботи арматури з бетоном. Саме встановлення цих закономірностей і становить наукову новизну постановки та вирішення поставленої задачі.

Кандидат технічних наук, доцент Зіборов К.А., к.т.н. за спеціальністю 05.02.09, декан механіко-машинобудівного факультету.

Чому в якості порівняння у вас була обрана сталева арматура класу А500С?

Здобувач Пілюгін. Є.Д.

Дякую за запитання. Для порівняльних досліджень було обрано сталеву арматуру класу А500С, оскільки на сьогодні вона є найбільш поширеним видом арматури, що застосовується у цивільному та промисловому будівництві України. Саме цей клас використовується як базовий під час проєктування більшості залізобетонних конструкцій, тому його обрання дозволяє найбільш об'єктивно оцінити перспективи заміни традиційної сталевий арматури композитною.

Доктор технічних наук, професор кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Гришак В.З., д.т.н. за спеціальністю 05.02.09.

Під час доповіді Ви охарактеризували сучасний стан досліджень, однак не навели прізвищ науковців, роботи яких аналізувалися. Прошу пояснити, на чому ґрунтується теоретична перевірка та обґрунтування отриманих результатів.

Здобувач Пілюгін. Є.Д.

Дякую за запитання. Аналітичний огляд у роботі виконано на основі аналізу сучасних досліджень щодо сталевий та композитної арматури, їх термомеханічних властивостей, корозійної стійкості та поведінки в умовах високотемпературного впливу. Основна теоретична перевірка результатів у дисертації здійснювалася не лише шляхом аналізу літературних джерел, а й за допомогою чисельного моделювання методом скінчених елементів. Зокрема,

були розроблені RVE-моделі композитних матеріалів та моделі армованих бетонних елементів у термомеханічному полі, що дозволило порівняти отримані експериментальні результати з розрахунковими даними та підтвердити встановлені закономірності.

Після відповідей на запитання виступили:

Рецензенти дисертаційної роботи, які наголосили на позитивних аспектах дослідження та висловили свої побажання й зауваження.

Кандидат технічних наук, доцент Козечко В.А.: викладається зміст виступу.

Насамперед хочу зазначити, що тема дисертаційної роботи є надзвичайно актуальною, особливо з огляду на сучасні умови та виклики, які постали перед нашою державою. Наукові завдання, поставлені здобувачем, є своєчасними та мають практичне значення. Безумовно, окремі аспекти дослідження могли б бути додатково розширені, однак зрозуміло, що в межах однієї дисертаційної роботи неможливо охопити всі питання. Вважаю, що поставлені автором завдання виконано в повному обсязі, а отримані результати мають як наукову, так і практичну цінність. Робота має перспективи подальшого розвитку в наступних наукових дослідженнях.

Загалом дисертаційна робота справляє позитивне враження, відповідає встановленим вимогам і може бути рекомендована до захисту.

Кандидат технічних наук, доцент Слупська Ю.С.: викладається зміст виступу.

Дисертаційна робота має комплексний характер і виконана на високому науково-методичному рівні. У роботі вдало поєднано експериментальні дослідження, сучасні чисельні методи моделювання та методи мікроструктурного аналізу, що забезпечує достовірність отриманих результатів. Автором проведено комплексне дослідження механічних, термічних і структурних характеристик сталевих та композитних арматур, а результати електронно-мікроскопічних досліджень підтверджують зроблені висновки щодо механізмів деградації матеріалів. Отримані результати мають практичне значення та можуть бути використані під час проектування залізобетонних конструкцій, а також у подальших наукових дослідженнях і розробленні нормативної документації. Загалом вважаю, що дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, заслуговує на позитивну оцінку та може бути рекомендована до захисту.

Наукові керівники:

доктор наук, професор, професор кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну НТУ «Дніпровська політехніка» Лаухін Дмитро Вячеславович.

Хочу зазначити, що основні наукові положення, які здобувач виносить на захист, а також практична цінність роботи були сформульовані ним

самостійно. Експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи здобувач виконував самостійно або за участі відповідних фахівців. За моєї консультативної допомоги ним було сформульовано наукову новизну, практичне значення, мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження. Також здобувач самостійно займався оформленням дисертаційної роботи, аналізом отриманих знімків, обробкою результатів і формуванням основних висновків.

Щодо змісту роботи, слід зазначити, що вона спрямована на вирішення важливої науково-технічної проблеми, пов'язаної з корозійною деградацією сталевих арматур в залізобетонних конструкціях. Проблема корозії арматури є надзвичайно актуальною, оскільки значна кількість залізобетонних виробів і споруд експлуатується в умовах дії вологи та агресивних середовищ. У цьому контексті одним із перспективних напрямів є заміна традиційної сталевих арматури на композитну, зокрема скловолоконну, яка характеризується високою корозійною стійкістю.

Спочатку сфера застосування такої арматури розглядалася переважно для підземних паркінгів, укріплень, фундаментів та інших конструкцій, де важливо забезпечити довговічність і стійкість до корозійного впливу. Однак у подальшому виникла необхідність оцінити можливість використання композитної арматури і в конструкціях більш відповідального призначення. В умовах сьогодення, з урахуванням воєнних дій в Україні та підвищених ризиків виникнення пожеж, особливо важливим стало питання поведінки таких конструкцій під час високотемпературного впливу.

У дисертаційній роботі було досліджено, чи можливо застосовувати композитну арматуру в таких відповідальних конструкціях з урахуванням вимог пожежної безпеки. Адже будівельна конструкція має зберігати несучу здатність протягом певного часу, необхідного для евакуації людей або їх переміщення у безпечну зону. Для цього здобувачем було проведено серію експериментів із різними товщинами захисного бетонного шару.

За результатами досліджень встановлено, що використання композитної арматури має певні обмеження. У роботі ці обмеження були сформульовані, а також запропоновано рекомендації для проєктних організацій щодо доцільності застосування такої арматури у відповідальних конструкціях. Зокрема, розглянуто можливість підвищення вогнестійкості шляхом збільшення захисного бетонного шару або застосування теплозахисних покриттів, які можуть сприяти збереженню міцності композитної арматури під час температурного впливу.

Водночас у дисертаційній роботі показано, що і сталеві арматури під час пожежі зазнає суттєвих структурних і фазових перетворень, які призводять до значного зниження її міцнісних характеристик. Однак механізми втрати міцності у сталевих та композитних арматурах є різними. Саме тому в роботі було застосовано методи електронної мікроскопії та EDX-аналізу, що

дозволило дослідити міжфазні границі, хімічний склад окремих ділянок та встановити особливості деградації матеріалів після термічного впливу.

Щодо вибору механічних властивостей, які досліджувалися у роботі, слід зазначити, що він є обґрунтованим. У залізобетонних конструкціях арматура насамперед працює на розтяг, тому саме характеристики міцності при розтягу є визначальними. Також для контролю структурного стану сталеві арматури використовувалися показники твердості. У подальших дослідженнях доцільним може бути розширення програми випробувань, зокрема дослідження ударної в'язкості, якщо йтиметься про конструкції спеціального або захисного призначення.

Вважаю, що за науковим змістом та практичним значенням, внеском у методологію і практику вирішення важливих задач, дисертаційна робота відповідає вимогам, що пред'являються, а її автор, Пілюгін Євгеній Дмитрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Кандидат технічних наук, доцент, Проректор з науково-педагогічної, навчально-виховної роботи та перспективного розвитку НТУ «Дніпровська політехніка» Федоряченко Сергій Олександрович

У процесі виконання дисертаційної роботи Пілюгін Євгеній Дмитрович продемонстрував високий рівень наукової самостійності, професійної підготовки та відповідального ставлення до досліджень. Здобувач самостійно здійснив аналіз сучасних наукових джерел, сформував концепцію роботи, виконав математичне моделювання, узагальнив результати досліджень і сформулював наукові висновки. Моє керівництво полягало у науковому консультуванні щодо методології дослідження та інтерпретації отриманих результатів, тоді як основні положення дисертації, її наукова новизна та практичне значення є результатом особистої роботи автора.

Дисертаційна робота присвячена актуальній проблемі матеріалознавства – обґрунтуванню принципів вибору скловолоконної композитної арматури залежно від умов експлуатації. Автор комплексно дослідив вплив хімічного складу волокон, полімерної матриці, міжфазної взаємодії та мікроструктури матеріалу на механічні властивості, довговічність, втомну міцність і термостійкість композитної арматури. Використання сучасних мікромеханічних моделей та математичного апарату дозволило встановити взаємозв'язок між структурою композиційного матеріалу та його експлуатаційними характеристиками, а також запропонувати науково обґрунтовані підходи до їх покращення.

Практичне значення роботи полягає у розробленні рекомендацій щодо вибору компонентного складу композитної арматури для будівельних конструкцій, що експлуатуються в агресивних середовищах і за підвищених

температур. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування та створення нових композиційних матеріалів із прогнозованими експлуатаційними властивостями.

Вважаю, що дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, характеризується актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю, а її автор, Пілюгін Євгеній Дмитрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

В обговоренні дисертаційного дослідження взяли участь:

Доктор технічних наук, професор, д.т.н. за спеціальністю 05.02.01, Директор Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ Кононенко Г.А. зазначила, що представлена дисертаційна робота є своєчасною та актуальною, оскільки присвячена дослідженню перспективного матеріалу — скловолоконної арматури, практичне застосування якої потребує ґрунтового наукового обґрунтування. Відзначено, що результати дослідження дозволяють отримати важливі відповіді щодо особливостей використання матеріалу, його експлуатаційних можливостей та обмежень. Дисертаційна робота виконана на високому методичному та науковому рівні, містить вагомі наукові результати, комплексно поєднує експериментальні дослідження з розрахунковими методами та вдосконаленням моделей, є завершеною науковою працею, відповідає вимогам, що висуваються до дисертаційних робіт, і може бути рекомендована до захисту на разовій спеціалізованій вченій раді.

Доктор технічних наук, професор, д.т.н. за спеціальністю 05.02.01, декан факультету Інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Українського державного університету науки і технологій Бекетов О.В., зазначив, що дисертаційна робота справила позитивне враження, є актуальною та повністю відповідає паспорту спеціальності, за якою здобувач планує захищати дисертацію. Відзначено, що дослідження виконано на належному науковому та методичному рівні, містить вагомі результати, які мають наукову новизну та практичну цінність. Робота характеризується комплексним підходом до вирішення поставлених завдань, відповідає сучасним вимогам до дисертаційних досліджень у галузі матеріалознавства та є завершеною науковою працею. За своїм науковим змістом, практичною значущістю та рівнем виконання дисертаційна робота заслуговує на позитивну оцінку і може бути рекомендована до розгляду на засіданні разової спеціалізованої вченої ради та подальшого захисту на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Пілюгіна Євгенія Дмитровича «Вплив структуроутворення міжфазних границь скловолоконних армуючих елементів на механічні та експлуатаційні властивості композитних будівельних конструкцій»

Обґрунтування вибору теми дослідження.

Вибір теми дисертаційної роботи Пілюгіна Є.Д. обґрунтований тим, що залізобетонні конструкції є основним конструктивним матеріалом у сучасному будівництві і широко застосовуються при зведенні будівель, мостів, тунелів, підземних споруд та об'єктів інфраструктури, що експлуатуються в агресивних середовищах. Традиційне армування сталевими стержнями класу А500С, попри високі механічні характеристики, є вразливим до корозійного руйнування, що суттєво скорочує термін служби конструкцій та призводить до значних витрат на їх технічне обслуговування і ремонт. Альтернативою є застосування склопластикової (GFRP) арматури, яка характеризується стійкістю до корозії, малою питомою вагою та високою міцністю на розтяг. Разом з тим, діюча нормативна документація не містить достатньо обґрунтованих вимог щодо застосування GFRP-арматури в умовах термомеханічного навантаження, зокрема при пожежі, оскільки залежності між структурою міжфазних границь волокно–матриця та механічними і теплофізичними властивостями композиту в широкому діапазоні температур залишаються недостатньо вивченими. Тому робота, спрямована на встановлення закономірностей впливу структуроутворення міжфазних границь скловолоконних армуючих елементів на механічні та термомеханічні властивості залізобетонних конструкцій при порівнянні зі сталевією арматурою класу А500С, є актуальною.

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

Результати досліджень увійшли та були прийняті до уваги при оновленні освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії за спеціальністю 132 "Матеріалознавство".

Крім того результати наукових досліджень увійшли до методичних розробок для підготовки магістрів спеціальності 132 Матеріалознавство, а саме:

1. Кваліметрія та контроль якості матеріалів і виробів [Електронний ресурс]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів ступеня магістра спеціальності 132 Матеріалознавство / уклад. З.В. Сазанішвілі; Є.Д. Пілюгін, О.В. Федоскіна; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2025.

2. Фізичні властивості і методи дослідження матеріалів [Електронний ресурс]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів ступеня магістра спеціальності 132 Матеріалознавство / уклад. З.В. Сазанішвілі; Д.В. Лаухін; Є.Д. Пілюгін; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2025.

3. Сучасні методи дизайну [Електронний ресурс] : методичні рекомендації щодо використання растрової графіки при виконанні лабораторних робіт для здобувачів ступеня бакалавра всіх спеціальностей / уклад.: І.В. Вернер, Є.Д. Пілюгін ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 59 с.

Мета і завдання дослідження фізико-математичне моделювання ефективності застосування композитної скловолоконної арматури в армованих конструкціях широкого кола призначення.

Об'єкт дослідження процес структуроутворення та деградації комплексу фізико-механічних властивостей сталеві та композитної скловолоконної арматур, у бетонних конструкціях після впливу зовнішнього навантаження

Предмет дослідження - Взаємозв'язок між структурою міжфазних границь скловолоконних армуючих елементів, хімічним складом компонентів та механічними й експлуатаційними властивостями армованих бетонних конструкцій під дією зовнішнього навантаження.

Методи дослідження.

У роботі використано сучасні методи і методики досліджень: кількісний та якісний металографічний аналіз; растрова електронна мікроскопія із застосуванням EDX аналізу, механічні випробування; статистичний аналіз масивів експериментальних даних; чисельне моделювання.

Наукова новизна дослідження полягає у кількісному та якісному встановленні взаємозв'язку між параметрами структуроутворення міжфазних границь волокно–матриця скловолоконної арматури, основними інженерними константами та коефіцієнтами теплового розширення композиту залежно від об'ємної частки волокна і температури, а також між мікроструктурними змінами арматурних елементів після термічного впливу.

Теоретичне значення полягає одержаних результатів полягає у наступному:

1. Розроблено порівняльну базу даних фізико-механічних властивостей сталеві арматури та дев'яти варіантів скловолоконної арматур яка може бути безпосередньо використана проектувальниками залізобетонних конструкцій при виборі типу армування залежно від умов експлуатації.

2. Встановлені критичні температурні межі деградації GFRP-арматури ($T_g \approx 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ — початок розм'якшення матриці, $200\text{--}250\text{ }^{\circ}\text{C}$ — критичне зниження несучої здатності) дозволяють обґрунтовано призначати товщину захисного бетонного шару та вибір вогнезахисних покриттів для конструкцій із композитним армуванням відповідно до вимог пожежної безпеки.

3. Верифіковані скінченноелементні моделі армованих бетонних конструкцій у термомеханічному полі можуть застосовуватися проектними організаціями для чисельної оцінки вогнестійкості залізобетонних елементів з скловолоконним армуванням без проведення повномасштабних вогневих випробувань.

4. Результати EDX-аналізу розподілу хімічних елементів на міжфазних границях волокно–матриця та встановлені закономірності їх зміни

при термічному впливі можуть бути використані виробниками композитної арматури для вдосконалення технологій просочення та поверхневої обробки волокон з метою підвищення термостійкості готових виробів.

5. Отримані експериментальні дані про поведінку сталеві та скловолоконної арматури при нагріванні та результати механічних випробувань зразків до і після термічного впливу можуть слугувати підґрунтям для розроблення національних нормативних документів щодо застосування композитного армування в будівельних конструкціях підвищеної вогнестійкості.

Практичне значення роботи спрямовано на розширення областей застосування склопластикової арматури GFRP у залізобетонних конструкціях на основі встановлення взаємозалежностей між структурою міжфазних границь волокно–матриця та механічними і термомеханічними властивостями конструкцій при дії підвищених температур.

Особистий висновок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи були отримані здобувачем самостійно. При проведенні досліджень, результати яких опубліковані у співавторстві, здобувачеві належать розробка та верифікація числових моделей, проведення числового моделювання теплового та напружено-деформованого стану конструкцій, виконання та інтерпретація результатів мікроструктурних досліджень арматурних елементів, проведення комплексу механічних випробувань армованих бетонних зразків до та після термічного впливу.

Апробація результатів дослідження.

Високий ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень і результатів експериментальних досліджень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, забезпечується використанням сучасних методів і методик досліджень, апаратури, лабораторного устаткування, обчислювальної техніки і програмного забезпечення, відповідністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень, чітким трактуванням отриманих результатів, які не суперечать загальноприйнятим науковим положенням, а також досвідом практичного використання отриманих результатів і їх апробацією на 2nd International Scientific and Practical Conference «Development and Design of Modern Materials and Products» (м. Дніпро, Україна, 2023 р.), 3rd International Scientific and Practical Conference «Development and Design of Modern Materials and Products» (м. Дніпро, Україна, 2024 р.), XV Міжнародній науково-технічній конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна» (м. Дніпро, Україна, 2024 р.), Міжнародній науковій конференції «Modern problems of mechanics in special purpose structures» (2025 р.).

Публікації. Усього за результатами дисертаційних досліджень опубліковано 4 роботи у фахових журналах, 4 у тезах наукових конференцій.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Пілюгін Є.Д., Ротт Н.О. Перспективи застосування композитної арматури в будівельній галузі // Вісник ХНАДУ. – 2024. – №107. – С. 62–68. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.107.0.62>
2. Пілюгін Є.Д., Ротт Н.О. Вплив температури на поведінку композитобетону: чисельне моделювання // Вісник ХНАДУ. – 2025. – №110. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2025.110.0.24>
3. Пілюгін Є.Д. Methodological principles for selecting glass fiber composite materials in reinforced structures // Збірник наукових праць НТУ «ДП». – 2025. – №83. – С. 183. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/83.183>
4. Piliuhin Y.D. Comprehensive modeling of the properties of glass fiber reinforced polymer reinforcement in concrete elements under thermal and cyclic loading // Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy 2026. – №40. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2026-40-014>

Матеріали наукових конференцій:

5. Пілюгін Є.Д. Effect of the use of hard round polymer rods reinforced with fiberglass on the strength and durability of concrete structures // Збірник наукових праць 2nd International Scientific and Practical Conference «Development and Design of Modern Materials and Products». – Дніпро: НТУ «ДП», 2023.
6. Пілюгін Є.Д. Prospects for the application of composite reinforcement in the construction industry // Збірник наукових праць 3rd International Scientific and Practical Conference «Development and Design of Modern Materials and Products». – Дніпро: НТУ «ДП», 2024.
7. Пілюгін Є.Д. Перспективи застосування композитної неметалевої арматури на основі склоровінгу в будівельній галузі // Матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна». – Дніпро: НТУ «ДП», 2025.
8. Пілюгін Є.Д. До методики експерименту у дослідженні розподілу температури у середовищі з особливостями // Матеріали Міжнародної наукової конференції «Modern problems of mechanics in special purpose structures». – 2025.
9. Пілюгін, Є. Д., Лаухін, Д. В. (2026). Структурні особливості будови міжфазних границь між матрицею та волокнами в композитній арматурі. Наукова весна 2026: матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна». – Дніпро: НТУ «ДП», 2026.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (152). Загальний обсяг дисертації – 146 сторінок, у тому числі 47 рисунків та 12 таблиць.

Характеристика особистості здобувача.

Пілюгін Є.Д. навчався в аспірантурі на кафедрі конструювання, технічної естетики і дизайну до виконання всіх як теоретичних так і практичних завдань

ставиться відповідально. Під час проведення педагогічної практики мав добрий контакт з студентською аудиторією.

Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертація виконана фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури.

Відповідно до п.15 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, *пропонується такий склад разової ради:*

Голова ради:

Колосов Д.Л. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри медичної та біомедичної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

Рецензенти:

1. Козечко В.А. кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

2. Слупська Ю.С. кандидат технічних наук, доцент кафедри медичної та біомедичної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

Офіційні опоненти:

1. Серeda Б.П., професор, директор науково-дослідного центру «Матеріалознавства та інноваційних технологій» ДДТУ, завідувач кафедрою автомобілів та транспортно-логістичних систем Дніпровського державного технічного університету

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

У результаті попередньої експертизи дисертації Пілюгіна Є.Д. повноти публікації основних результатів дослідження

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Пілюгіна Є.Д. на тему: «Вплив структуроутворення міжфазних границь скловолоконних армуючих елементів на механічні та експлуатаційні властивості композитних будівельних конструкцій»

2. Констатувати, що за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Пілюгіна Є.Д. відповідає спеціальності 132 Матеріалознавство **Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)**, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. 6, 7,

8 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.

3. Рекомендувати дисертацію Пілюгіна Є.Д. на тему: : «Вплив структуроутворення міжфазних границь скловолоконних армуючих елементів на механічні та експлуатаційні властивості композитних будівельних конструкцій» до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

4. Рекомендувати Вченій раді Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

Голова ради:

Колосов Д.Л. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри механічної та біомедичної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

Рецензенти:

1. **Козечко В.А.** кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

2. **Слупська Ю.С.** кандидат технічних наук, доцент кафедри механічної та біомедичної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

Офіційні опоненти:

1. **Середа Б.П.**, доктор технічних наук, професор, директор науково-дослідного центру «Матеріалознавства та інноваційних технологій» ДДТУ, завідувач кафедрою автомобілів та транспортно-логістичних систем Дніпровського державного технічного університету

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

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації Козечко В.І.:

«За» – 17

«Проти» – немає

«Утримались» – немає

Презентація Пілюгіна Є.Д. на 27 стор. додається.

Головуючий на засіданні

Декан ММФ

кандидат технічних наук, доцент

Секретар засідання

кандидат технічних наук, доцент



К.А.Зіборов

Є.В. Федоскіна