

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Турба Юрія Васильовича**

на тему: «Тріщиностійкість дисперсно-армованого бетону»,  
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.23.05 – Будівельні матеріали та вироботи

*Актуальність теми дисертації.* На сьогодні дорожній одяг на 95% автомобільних шляхів України є нежорсткого типу та складається з асфальтобетону (на яких, згідно діючих нормативів, потрібно проводити поточний і капітальний ремонт через кожних 4 і 12 років відповідно). Останні тенденції, як в Україні так і країнах ближнього зарубіжжя свідчать про перспективу активного впровадження в дорожньому будівництві конструкцій покриття жорсткого типу – цементобетону. Всі автобани в Німеччині (нім. Autobahn, дослівно — «автомобільна траса»), а також основні дороги в США влаштовані з жорстких цементно-бетонних покриттів.

Потрібно зазначити, що використання бетону з класичним армуванням та умови його роботи в тонкостінних конструкціях і в дорожньому одязі жорсткого типу ставлять завдання пошуку способів підвищення тріщиностійкості, ударної міцності, морозостійкості та інших характеристик, які в свою чергу залежать від міцнісних властивостей матеріалу. Одним із рішень в цьому напрямку є застосування дисперсно армованого бетону. Комбінування жорстких – і через це зі значними резервами міцності – волокон (фібр) з матрицею (бетоном) дозволяє значно підвищити тріщиностійкість конструкцій при впливі повторюваних і динамічних навантажень.

Критерій надійності і довговічності бетону дорожнього покриття визначається здатністю елементів структури перерозподіляти та гасити локальні напруження в нестійких тріщинах в період раннього твердіння і експлуатації. Тому в технології дорожнього бетону і механіці управління його структуроутворенням з'являється новий напрямок, заснований на гальмуванні процесів руйнування – підвищення тріщиностійкості, що досягається розробкою та впровадженням одного із перспективних конструкційних матеріалів, а саме дисперсно-армованого бетону, який дозволяє компенсувати головні недоліки традиційного бетону - низьку міцність при розтягуванні та крихкість (низьку тріщиностійкість).



При цьому армування одним видом фібрового волокна не завжди призводить до підвищення фізико-механічних, техніко-експлуатаційних характеристик бетонів, а інколи навіть до їх зниження, що пояснюється "роботою" фібри на різних етапах експлуатації бетону. Комплексне дисперсне армування різними видами та типами фібри дасть змогу задіяти увесь потенціал введених волокон, яке до теперішнього часу вивчене недостатньо.

Тому дослідження матеріалів для жорстких покриттів на автомобільних дорогах із використанням дисперсного армування є подальшим науковим удосконаленням цементно-бетонного покриття.

Варто зазначити, що для нашої держави дуже важливим є вирішення загальних проблем створення транспортної інфраструктури, а саме зниження затрат при будівництві та збільшення терміну безремонтної експлуатації жорстких покриттів на автомобільних дорогах.

У зв'язку з цим дослідження тріщиностійкості дисперсно-армованого бетону є актуальним завданням.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.* Актуальність теми дисертаційної роботи підтверджена її зв'язком з науково-дослідницькими роботами кафедри автомобільних доріг та мостів Національного університету «Львівська політехніка».

Основні дослідження теоретичного та прикладного характеру також пов'язані з держбюджетною темою «Розроблення ефективних технологій і матеріалів для будівництва та ремонту дорожніх одягів» (номер держреєстрації 0114U001233).

*Коротка характеристика змісту дисертації.* Дисертаційна робота має класичну структуру: вона складається з вступу, п'яти розділів, висновків до розділів, загальних висновків до роботи, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 143 сторінках друкованого тексту, основний її зміст викладено на 125 сторінках, у ній присутні: 28 таблиць, 38 рисунків, перелік із 118 найменувань використаних літературних джерел на 12 сторінках і 2-ва додатки.

Дисертація написана українською мовою, її структура та оформлення відповідають установленим вимогам. Вона характеризується єдністю змісту.

У *вступі* наведена загальна характеристика дисертаційної роботи, автором обґрунтовано актуальність проблеми; визначено мету, завдання, об'єкт, предмет та методи досліджень; наведено зв'язок із державними науковими



програмами та особистий внесок здобувача; описано наукову новизну, практичне значення результатів, а також апробацію та впровадження дисертаційного дослідження.

У *першому розділі* проведено критичний огляд і аналіз науково-технічної літератури про технологічні особливості отримання бетонів, що армовані різними видами та типами фібр, їх вплив на фізико-механічні властивості, характеристики тріщиностійкості та довговічності, а також визначено теоретичні передумови досліджень.

На основі аналізу літературних джерел відзначено, що при використанні дисперсно-армованих бетонів можна значно зменшити матеріало- і трудомісткість транспортного будівництва та, як наслідок, його вартість. Розглянуті особливості використання фібрових волокон різних видів та типів для армування бетонів: металевих, скловолоконних, базальтових, поліпропіленових, поліетиленових, ін., та виділено їх переваги та недоліки.

Проведено аналіз робіт, що стосуються композиційного дисперсного армування бетонів. Слід відзначити, що питання полідисперсного армування бетонів в літературі розглянуте недостатньо, а особливо поєднання поліпропіленових фібр різного типу. Показано, що фізико-механічні властивості та силові і енергетичні характеристики тріщиностійкості дисперсно-армованих бетонів залежать від його складу, технології виготовлення, виду і вмісту фібри, геометричних характеристик волокон та способу їх введення в бетонну суміш.

Аналіз проведених досліджень дав змогу висунути наукову гіпотезу про можливість підвищення міцнісних властивостей і силових та енергетичних характеристик тріщиностійкості бетонів за рахунок полідисперсного армування поліпропіленовими фібрами різних типів з покращеними будівельно-технічними властивостями.

*Другий розділ* присвячений характеристикам вихідних матеріалів та опису основних методик досліджень, що застосовані в роботі.

Фізико-механічні, будівельно-технічні та експлуатаційні характеристики розроблених полідисперсноармованих бетонів визначали згідно діючих стандартів та загальноприйнятих методик. Оптимізацію складів дисперсно-армованих бетонів транспортного призначення проводили за допомогою методів експериментально-статистичного моделювання з використанням дисоціативно-крокового методу оптимізації.



Силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості дисперсно-армованих бетонів визначали при рівноважних механічних випробуваннях призм із записом повної діаграми стану (ПДС) «навантаження-прогин» (F-V). Випробування зразків проводили за схемою триточкового згину на 200-тонному гідравлічному пресі. Контрольні зразки навантажували неперервно до їх поділу на частини. Для випробувань використовували зразки розміром 0,1×0,1×0,4 м із початковим надрізом висотою 0,04 м і шириною 0,002 м.

Деформації зсідання бетонів визначали на спеціальному стенді із вимірюванням абсолютних деформацій за допомогою еталонного компаратора.

*Третій розділ* присвячено дослідженням впливу дисперсного армування різними видами та типами фібрових волокон на фізико-механічні властивості та характеристики тріщиностійкості бетонів.

Аналіз отриманих ПДС дисперсно-армованих бетонів свідчить про позитивний вплив дисперсного армування бетонів серій П1 та П2, як на докритичній стадії формування макротріщини, так і на закритичній – сприйняття бетоном критичного навантаження та руйнування до поділу досліджуваних зразків на частини.

Аналіз отриманих ПДС бетонів дисперсно-армованих поліпропіленовими фібрами візуально демонструє серії бетонів з найвищими характеристиками тріщиностійкості – питомими енерговитратами на статичне руйнування до моменту початку руху магістральної тріщини, питомими ефективними енерговитратами на статичне руйнування, статичним критичним коефіцієнтом інтенсивності напружень.

Для подальших досліджень використовували склад бетону з технологічними факторами впливу на середньому рівні: щебінь з найбільшим розміром зерна 20 мм та коефіцієнтом розсуву зерен крупного заповнювача 1,4.

Проведені дослідження показали необхідність комплексного поєднання та оптимізації вмісту в бетоні поліпропіленової фібри типу “поліарм” та “мікроарм”.

У *четвертому розділі* наведено результати експериментально-статистичного моделювання міцнісних властивостей та характеристик тріщиностійкості бетонів з композиційним дисперсним армуванням поліпропіленовими фібрами типу “поліарм” та “мікроарм”. Досліджено також фізико-механічні, експлуатаційні властивості, деформації усадки бетонів



оптимального складу з композиційним дисперсним армуванням порівняно з неармованим бетоном.

Високі показники міцності на розтяг при згині та характеристики тріщиностійкості пояснюються ефектом “містка”, який який формується фібровим волокном і сповільнює розвиток макротріщини в докритичній стадії деформування та чинить опір дефрагментації в закритичній стадії руйнування полідисперсноармованих бетонів.

Наведено будівельно-технічні властивості бетону з композиційним полідисперсним армуванням поліпропіленовими фібрами типу “поліарм”, “мікроарм” та неармованого бетону. Встановлено, що міцність на стиск та на розтяг при згині розробленого бетону перевищує відповідні значення для неармованого бетону на 22 та 68%. Водопоглинання за масою суттєво не відрізняється. В той же час, зниження міцності після 400 циклів заморожування – відтавання становить для армованого та неармованого бетонів 9,8 % та 12,3 % відповідно, що зумовлено ефективною роботою фібрових волокон при появі внутрішніх напружень в бетоні внаслідок замерзання рідкої фази. Спостерігається зменшення стираності на 19% при полідисперсному армуванні та суттєве зростання енергетичних характеристик тріщиностійкості.

**У п'ятому розділі** представлені результати дослідно-промислового впровадження розроблених бетонів дисперсно-армованих поліпропіленовими фібрами типу “поліарм” та “мікроарм” транспортного призначення.

Промислову апробацію проведено при виготовленні цементно-бетонного покриття паркінгу при складських приміщеннях у с. Муроване (Львівська ОТГ). Результати випробувань підтвердили досягнення високої ранньої міцності на стиск ( $f_{cm.cube}^3=34,3$  МПа) та проектної міцності на розтяг при згині ( $f_{ctfm}^{28}=9,5$  МПа).

Порівняльний розрахунок витрат на влаштування дорожнього покриття для традиційного та розробленого бетону свідчить, що використання бетону з класом міцності на згин  $B_{tb} 7,2$  дає змогу знизити товщину конструкції з 25 до 18 см із забезпеченням розрахункових коефіцієнтів надійності. Питомий економічний ефект від зниження вартості матеріалів і виконання робіт складає 12 тис. грн на 1000 м<sup>2</sup> дорожнього покриття.

В кінці дисертації подано загальні висновки, список використаних літературних джерел та додатки (Додатки А-Б).



*Наукова новизна отриманих результатів* дисертації повністю обґрунтована результатами експериментальних і теоретичних досліджень, що наведені автором у роботі:

- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість одержання бетонів транспортного призначення з підвищеною тріщиностійкістю шляхом композиційного дисперсного армування поліпропіленовою фіброю різного типу;

- вперше встановлено ефективність комплексного поєднання в оптимальному співвідношенні поліпропіленової фібри типу “поліарм” та “мікроарм” для полідисперсного армування бетону на мікро- та макрорівні для забезпечення підвищених силових та енергетичних характеристик тріщиностійкості;

- встановлена визначальна роль композиційного дисперсного армування та технологічних факторів на ефективність “роботи” бетону на різних етапах деформування та руйнування;

- виявлено ефект “містка”, який формується фібровим волокном і сповільнює розвиток макротріщини в докритичній стадії деформування та чинить опір дефрагментації в закритичній стадії руйнування полідисперсноармованих бетонів;

- отримано комплекс експериментально-статистичних моделей силових та енергетичних характеристик тріщиностійкості дисперсно-армованих бетонів поліпропіленовими фібрами типів “поліарм” і “мікроарм” та їх комплексного поєднання.

*Практична цінність результатів дисертаційної роботи* є незаперечною та полягає у тому, що за результатами проведених досліджень:

- розроблено бетони з композиційним дисперсним армуванням поліпропіленовими фібрами типу “поліарм” та “мікроарм”, з підвищеними показниками довговічності (марка за морозостійкістю не менше F200), тріщиностійкості (загальні питомі ефективні витрати енергії на статичне руйнування  $G_F=760$  Дж/м<sup>2</sup>, критичний коефіцієнт інтенсивності напружень  $K_I=0,86$  МПа×м<sup>1/2</sup>) та міцності на розтяг при згині ( $f_{ctfm}=11,40$  МПа);

- проведено дослідно-промислово апробацію розроблених полідисперсноармованих бетонів на виробничій базі ПП “ЗАХІД-БЕТОН-БУД”. Здійснено виробництво дослідної партії бетону на основі портландцементу ПЦ П/А-Ш-500 та виготовлено цементно-бетонне покриття паркінгу при



складських приміщеннях у с. Муроване (Львівська ОТГ). Результати випробувань підтвердили досягнення підвищених характеристик міцності, тріщиностійкості та довговічності.

- отримані результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» при викладанні дисципліни “Наукові дослідження в будівництві” для магістрів за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія.

*Апробація* наведених у дисертаційній роботі результатів є достатньою. За темою дисертаційної роботи загалом опубліковано 12 наукових праць, у тому числі 3 наукових публікацій у спеціалізованих фахових виданнях України, 3 – у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз (із яких 2-ва індексується міжнародною наукометричною базою Scopus). Матеріали дисертаційної роботи також оприлюднено в 6-ти тезах доповідей.

Основні положення та результати дисертаційної роботи висвітлювалися та обговорювалися на 7-ми конференціях:

- LXVIII науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів НТУ (2012, м. Київ).
- 18-th Internationale Baustofftagung. IBAUSIL. Weimar (2012, Німеччина, м. Веймар).
- міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг” (14-15 листопада 2013, м. Харків).
- III міжнародній науково-технічній конференції Луцького національного технічного університету “Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей” (2014, Світязь,);
- 19-th Internationale Baustofftagung. IBAUSIL. Weimar, (2015, Німеччина, м. Веймар).
- XV International Scientific Conference “Current Issues Of Civil And Environmental Engineering And Architecture”. – Rzeszow-Lviv-Kosice (2015, Польща, м. Жешув).



• II Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції «Модернізація та сучасні технології транспортного будівництва» (23 листопада 2017 р., м. Львів).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась і отримала схвалення на засіданні кафедри автомобільних доріг та мостів Національного університету «Львівська політехніка».

Щодо *достовірності результатів наукових досліджень* одержаних у дисертації, можна констатувати, що вона забезпечена шляхом виконання експериментально-теоретичних досліджень і застосуванням сучасних методів визначення тріщиностійкості дисперсно-армованих бетонів. А досить високий рівень збіжності при порівнянні теоретичних результатів із експериментальними даними свідчить про обґрунтованість прийнятих передумов і методів.

**За змістом дисертаційної роботи можна зробити такі зауваження:**

1. В дисертаційній роботі некоректно сформовані об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом дослідження мають бути матеріали або конструкції, що досліджуються. А предметом дослідження – властивості або характеристика об'єкта дослідження, тобто явище або процес.

2. Під час огляду літературних джерел варто було розглянути закордонні дослідження за останніх 10-ть років. У дисертаційній роботі більшість іноземних публікацій за 1960-ті-1970ті роки.

3. Враховуючи, що руйнування дорожніх покриттів відбувається в першу чергу від впливу динамічних навантажень – у дисертаційній роботі необхідно було детально проаналізувати опубліковані результати рівненських науковців щодо експериментальних досліджень дисперсно армованих бетонів при впливі на них динамічних навантажень (за останніх 3-5 років).

4. В огляді (с.24, [25]) проаналізовано російський нормативний документ ВСН 56-97 «Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций» (1997 р.). Варто було проаналізувати актуальніший документ – СП 360.1325800.2017 «Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования», що вступив в дію від 2018 р.

5. Застосовані під час дослідження поліпропіленові фібри маркуються типу «мікроарм» та «типу «поліарм»» (с. 43). Необхідно було в тексті розшифрувати смисловий зміст цих термінів і чому саме така назва.

6. На графіках, що представлені на с. 56-57, а також на с. 64 і с. 74, для їх кращого сприйняття варто було розшифрувати позначення діаграм в самій легенді на рисунках, а не по тексту.

7. Описаний в роботі (с. 105) економічний ефект від зменшення товщини бетонного покриття на 28% (із 25 см бетонного до 18 см фібробетонного покриття) становить тільки 12 грн/м<sup>2</sup>. При такому зменшенні товщини бетону, з роботами щодо його вкладання – економія має становити на 1...2 порядки більше.



Наведені зауваження не знижують теоретичного та практичного значення дисертаційної роботи і можуть бути враховані в подальших дослідженнях. Вони не можуть впливати на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Дисертація Турба Ю.В. є завершеною працею, в якій отримані науково обґрунтовані результати, що дають змогу вирішити важливу науково-прикладну задачу з розроблення дисперсно-армованих бетонів транспортного призначення з підвищеними будівельно-експлуатаційними властивостями та характеристиками тріщиностійкості.

Результати дисертаційної роботи достатньо опубліковані та неодноразово оприлюднені на науково-технічних конференціях. Автореферат дисертації вірно відображає її основні положення.

Вважаю, що за актуальністю, науковою новизною, обсягом проведених експериментальних досліджень, їхньою науковою та практичною значимістю дисертаційна робота **Турба Юрія Васильовича** на тему «Тріщиностійкість дисперсно-армованого бетону» відповідає вимогам МОН України пп. 9, 11, 14 «Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вчених звань», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 щодо кандидатських дисертацій із змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 656 від 18.08.2015 р., а її автор заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – Будівельні матеріали та вироби.

**Офіційний опонент**

Кандидат технічних наук, доцент,  
декан факультету архітектури, будівництва та дизайну  
Луцького національного технічного університету

О.В. Андрійчук

Підпис к.т.н., доцента  
Андрійчука О.В. засвідчую:  
Начальник відділу кадрів Луцького



В.П. Панасюк

ВІРНО:  
Начальник відділу кадрів  
№ 09 2016 р.