

Петровська Н.І. [1; ORCID ID: 0009-0007-6129-5569],

к.т.н., доцент,

Турба Ю.В. [1; ORCID ID: 0000-0003-3692-8890],

к.т.н., доцент,

Розмус Д.І. [1; ORCID ID: 0009-0002-8119-5534],

аспірант

¹Національний університет «Львівська Політехніка», м. Львів

ВПЛИВ ФІБРИ ТА ПОЛІМЕРНОГО МОДИФІКАТОРА НА ВЛАСТИВОСТІ УКОЧУВАНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНУ (RCC)

У роботі досліджено вплив поліпропіленового фіброволокна та полімерного модифікатора М10+50 на фізико-механічні властивості уочуваного цементобетону (RCC). Показано, що введення поліпропіленової фібри підвищує міцність бетону на стиск і згин, а також покращує тріщиностійкість завдяки формуванню просторової системи мікроармування. Полімерний модифікатор, хоч і дещо знижує міцність у ранньому віці, забезпечує значне зменшення водопоглинання та ущільнення структури бетону. Встановлено, що комбіноване застосування фібри та полімеру забезпечує синергічний ефект: полімер зменшує пористість, а фібра компенсує втрату міцності та підвищує енергетичні характеристики руйнування. Отримані результати свідчать про покращення характеристик уочуваних бетонів. Запропонований підхід до модифікації RCC може бути ефективним для підвищення довговічності та експлуатаційної надійності дорожніх покриттів.

Ключові слова: дорожнє покриття, уочуваний бетон (RCC), поліпропіленова фібра, полімерний модифікатор, міцність на згин та стиск.

Вступ. В даний час на дорогах з активним рухом як в Україні, так і за кордоном, склалася ситуація, коли конструкція автомобільних покриттів не відповідає вимогам міцності та несучої здатності. Це пов'язано як з постійним збільшенням інтенсивності руху та зростанням вантажних перевезень, так і з появою нових типів транспортних засобів із підвищеним навантаженням на вісь. Наслідком такої ситуації є швидке руйнування дорожніх покриттів та

утворення колійності. В результаті нежорсткі дорожні покриття вимагають частого ремонту, що призводить до збільшення витрат на їх утримання.

У зв'язку з цим останніми роками в усьому світі зростає інтерес до дорожніх покриттів і основ з укочуваного бетону. Укочуваний бетон (RCC) отримав свою назву від способу, що використовується в будівництві для його укладання відповідно до ACI 207.5R[1]. Ця зростаюча увага обумовлена можливістю зменшення товщини шару бетону і споживання цементу в порівнянні з традиційними бетонними покриттями. Ця технологія спрощує існуючі методи укладання бетону, що використовуються при будівництві доріг з інтенсивним рухом і великим навантаженням.

У порівнянні з традиційним цементно-бетонним покриттям, покриття з укочуваного бетону (RCC) має ряд переваг: рух транспорту з низьким навантаженням на вісь можна відкривати відразу після ущільнення покриття, для його укладання та ущільнення можна використовувати те саме обладнання, що і для звичайного асфальтобетонного покриття [2].

Укочуваний бетон має ряд переваг, таких як значно нижчі витрати на матеріали та ущільнення — зазвичай на 25-50 % у порівнянні зі звичайними бетонними сумішами. Він забезпечує швидке будівництво завдяки ефективним методам укладання. При цьому практично відсутньою є деформація дорожнього покриття при високій щільності укладання. Крім того, техніка пошарового укладання мінімізує потребу в опалубці, а витрати на транспортування, укладання та ущільнення також значно зменшуються[3,4].

У технології будівництва цементно-бетонних дорожніх покриттів широко використовуються спеціальні добавки для вибіркового впливу на процеси формування і модифікації структури цементного каменю і бетону, а також поліпшення їх експлуатаційних властивостей [5,6]. Завдяки використанню модифікаторів, бетону можна надати нові спеціальні властивості та зменшити водоцементне відношення [7,8].

Характеристика матеріалів. Для дослідження укочуваного бетону в роботі у якості фібри використовувалося нежорстке поліпропіленове волокно Fibermesh 150. Поліпропіленове волокно є високодисперсним гігроскопічним матеріалом, що дозволяє розширити експлуатаційні властивості бетонів. Це волокно запобігає



утворенню тріщин внаслідок усадки, покращує стійкість бетонів до динамічних і статичних навантажень[9,10].

Поліпропіленове волокно Fibermesh 150 значно покращує характеристики бетону в початковий період набору міцності. Воно має високу хімічну стійкість, не піддається корозії і не розкладається в середовищі тверднучого бетону (на відміну від звичайного скловолкна).

В структурі бетону Fibermesh 150 підвищує морозостійкість і значно зменшує утворення усадочних мікротріщин. Покращує зносостійкість поверхні бетону, підвищує водонепроникність бетону за рахунок блокування капілярів волокном.

При використанні Fibermesh 150 підвищується міцність бетону на стиск і згин, зростає морозостійкість, зменшується відшарування верхнього шару. Поліпропіленове волокно в структурі бетону значно зменшує утворення усадочних мікротріщин, покращує зносостійкість та покращує водонепроникність.

В якості полімерного модифікатора в роботі була досліджена полімерна емульсія M10+50 на основі акрилового вінілацетатного кополімеру, пластифікуючий ефект якої завдяки своїй специфічній формулі оптимізує дозування цементу, необхідного для досягнення заданої міцності. Для отримання еквівалентної пластичності бетонної суміші кількість води зменшується, що забезпечує більшу щільність бетону, зменшує капілярну пористість та збільшує міцність на стиск. Крім того, цей пластифікатор має водовідштовхувальні властивості, тому його можна додавати до бетонної суміші для зменшення водопоглинання. Для всіх досліджуваних складів використовували добавку 2,8 мас.% модифікатора.

Для дослідження використовувався портландцемент ЦЕМ ІІ/В 42,5R виробництва ПАТ «Волинь-Цемент», який відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-46:2010.

В якості дрібного заповнювача у роботі використовувався кварцовий пісок Жовківського родовища Львівської області з модулем крупності 1,9 і насипною густиною 1,47 г/см³. Випробування піску проводилися відповідно до ДСТУ Б В.2.7- 232:2010.

В якості крупного заповнювача використовувався гранітний щебінь Коростенського родовища Житомирської області. Насипна густина щебеню становила 1,35–1,40 г/см³, а середня густина зерен– 2,65–2,70 г/см³, що відповідає типовим значенням для гранітних заповнювачів. Лещадність щебеню знаходилася в межах 15–20 %,

що дозволяє віднести його до кубовидного та покращеного за формою зерен.

Склади бетонних сумішей розраховувалися за методом абсолютного об'єму. Витрата матеріалів та властивості бетонних сумішей наведено в табл.1. Партія зразків складалася з шести бетонних призм розміром 40×10×10см і двох кубів розміром 10×10×10см. Суміші готували в роторному бетонозмішувачі. Формування сумішей здійснювалося в 3-4 шари шляхом пошарової вібрації на лабораторному вібраційному столі СМЖ-539. Зразки бетону зберігалися в камері нормального тверднення при температурі 20±3° С і відносній вологості 95±5%. Призми, виготовлені для визначення характеристик стійкості до руйнування (в'язкості руйнування) під статичним навантаженням, були попередньо розрізані. За допомогою алмазної пилки було зроблено надрізи глибиною 40 мм і шириною 2 мм. Зразки випробовували через 2, 7 і 28 діб. Міцність на згин і стиск визначали відповідно до ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Тріщиностійкість оцінювали за схемою триточкового згину для призм із заздалегідь створеним надрізом висотою 4см і шириною 2мм. відповідно до ДСТУ-Н Б В.2.7-227-2009.

Таблиця 1

Склад та властивості бетонної суміші

Назва складу	Цемент	Пісок	Щебінь (1.25-5)	Щебінь (5-10)	В/Ц	Час Вебе
-	кг/м ³				-	с
Контрольний	350	350	450	400	0.31	18
Полімер	300	300	400	350	0.29	19
Фібра	300	300	400	350	0.3	20
Фібра+Полімер	300	300	400	350	0.29	18

Міцність розробленого укочуваного бетону (RCC). Дослідження проводилося з метою підвищення міцності на згин та стиск укочуваного бетону. Оскільки RCC стає все більш доступним для використання в дорожньому будівництві, існує потреба в його дослідженні та вдосконаленні його складу. З цією метою було досліджено чотири склади укочуваного бетону: без добавок (Контрольний), з полімерним модифікатором М10+50 (Полімер), з нежорстким поліпропіленовим волокном (Фібра) та з полімером і



волоконном (Фібра+Полімер). Міцність бетону на згин та стиск визначалася на 2, 7 і 28 добу тверднення. Результати випробувань наведені в табл. 2. Аналіз отриманих результатів показує, що введення полімеру М10+50 окремо дещо знижує ранню та середню міцність на стиск і згин порівняно з контрольним бетоном. Натомість використання поліпропіленових волокон забезпечує стабільне підвищення характеристик на всіх строках тверднення. Коли до суміші додають одночасно і поліпропіленове волокно і модифікатор – волокно компенсує втрату міцності

Таблиця 2

Міцність бетону на згин та стиск

Назва складу	Міцність на стиск, МПа.			Міцність на згин, МПа.		
	2 добы	7 діб	28 діб	2 добы	7 діб	28 діб
Контрольний	25.3	38.8	41.5	5.9	7.4	8.8
Полімер	21.0	26.1	38.8	5.9	6.9	8.4
Фібра	26.9	40.2	47.7	6.6	8.0	9.4
Фібра+Полімер	24.6	35.1	41.9	6.1	7.2	8.3

Тріщиностійкість. Для оцінювання тріщиностійкості укочуваних бетонів було проаналізовано вплив полімерного модифікування та дисперсного армування поліпропіленовим волокном на напружено-деформований стан матеріалу. Особливу увагу приділено зміні міцнісних характеристик, формуванню діаграм «навантаження–переміщення» та поведінці матеріалу в зоні утворення й розвитку тріщин. У межах дослідження порівнювалися наступні склади: контрольний, полімермодифікований, фіброармований та композиція Фібра+Полімер, що дозволило визначити їхні переваги та обмеження з точки зору опору тріщиноутворенню.

Як відомо, підвищення міцності на стиск прямо пропорційне вмісту волокон і досягає 140-150 % при армуванні за об'ємом 2-3%. Оскільки вміст волокон у досліджуваному бетоні був обраний на мінімально допустимому рівні, міцність на стиск бетону з фіброю була, як і очікувалося, нижчою. Результати дослідження характеристик міцності та деформації наведені в табл.3 та на рис.1.

Конфігурація висхідних гілок діаграм свідчить, що бетон, модифікований полімером має нижчу міцність на згин. Найкращі параметри стійкості до тріщиноутворення характерні для композицій з волокном. Композиція Фібра+Полімер майже не відрізняється за

міцністю з контрольним складом. Максимальні деформації, при яких зразки руйнуються, не перевищують $500 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ і приблизно рівні між собою.

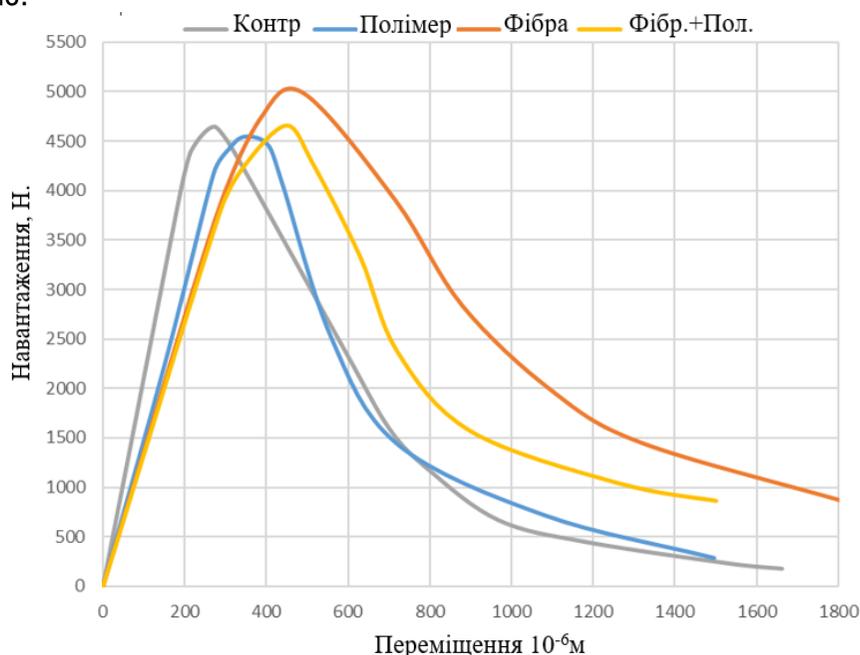


Рис.1. Порівняння деформаційної поведінки модифікованих бетонів
Таблиця 3

Фізичні та механічні властивості досліджуваного бетону

Назва складу	Статичний розрахунковий модуль пружності бетону E_b , МПа	Модуль пружності $E_{tb} \cdot 10^{-3}$, МПа	Критерій крихкості $X_{tb} \cdot 10^{-4}$, м
Контрольний	5700	78	239
Полімер	4270	117	180
Фібра	3913	150	222
Фібра+Полімер	3462	165	178

Введення полімеру призводить до зниження модуля пружності укочуваного бетону, проте супроводжується зменшенням критерію крихкості, що свідчить про підвищення тріщиностійкості та більш пластичний характер деформування. Аналогічні результати спостерігаються і для фібробетону. Найбільш виражений ефект зафіксовано в композиції Фібра+Полімер.

Середня густина та водопоглинання. Для оцінки довговічності бетонного покриття важливо враховувати не лише середню густину

бетону, а й його вологість та водопоглинання, оскільки ці параметри безпосередньо впливають на здатність бетону протистояти агресивним впливам середовища.

При визначенні середньої густини бетонної суміші встановлено, що зі зменшенням значення жорсткості - густина збільшується. Це означає, що низькі значення густини можуть негативно впливати на оброблюваність бетонної суміші, але не погіршують її ущільнення. Середня густина була визначена для кожного цементобетонного складу та зображена на рис.2.

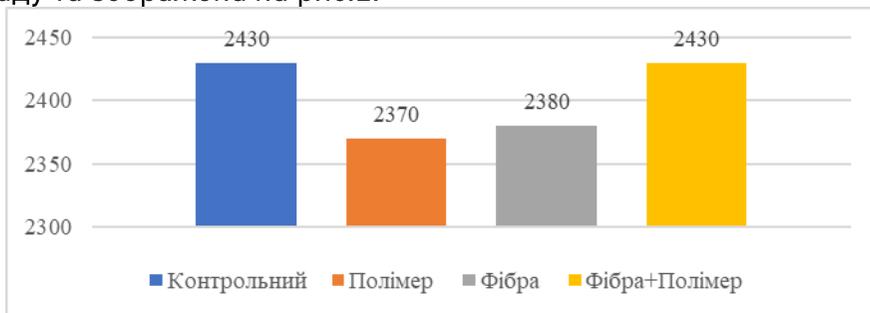


Рис. 2. Середня густина зразків модифікованого RCC

Результати показують, що комбіноване використання фібри та полімеру, забезпечує синергічний ефект, дозволяючи показнику середньої густини, досягти рівня контрольного складу.

Вимірювання вологості проводилось шляхом сушіння зразків при температурі 95–115 °С до досягнення постійної маси. На основі маси та об'єму зразків до і після сушіння обчислювався вміст води. Вологість є важливим показником, оскільки вона впливає на фізико-механічні властивості укочуваного бетону та його здатність протистояти зовнішнім впливам. Середні значення вологості наведені на рис.3.

Результати показують, що контрольний склад має найвищі значення як масової вологості (W_m), так і об'ємної вологості (W_o). В цілому, комбінована модифікація волокном і полімером ефективно зменшує поглинання води порівняно з контрольним складом.

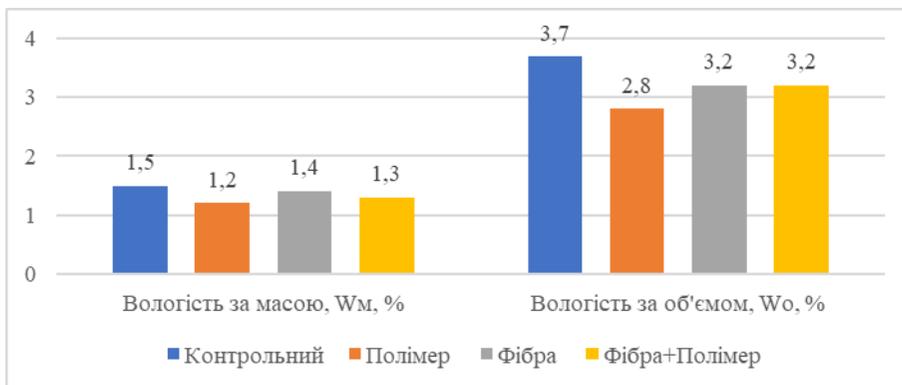


Рис. 3. Вологість зразків модифікованого RCC

Водопоглинання характеризує здатність бетону вбирати воду і безпосередньо пов'язане з його пористістю та щільністю. Цей параметр визначався після насичення зразків водою. Середні значення водопоглинання наведені на рис.4. Високе водопоглинання може свідчити про більшу пористість бетону та потенційно меншу довговічність покриття, тоді як низьке водопоглинання підвищує його стійкість до агресивних середовищ.

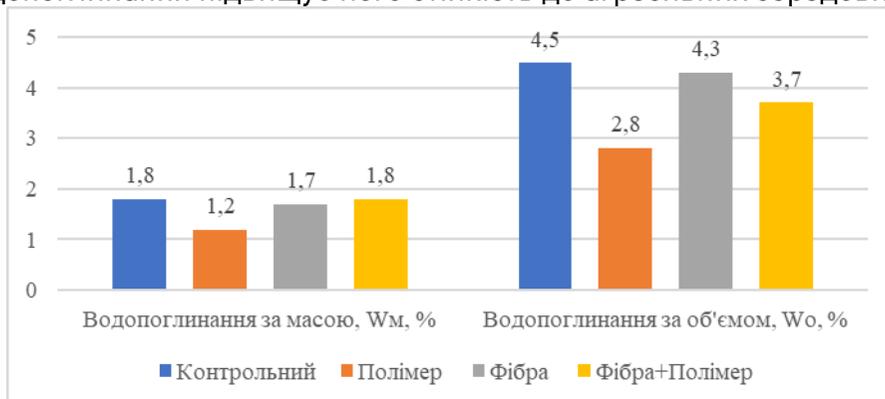


Рис. 5. Водопоглинання зразків модифікованого RCC

Можна зробити висновок, що додавання полімеру, значно зменшує як масове, так і об'ємне водопоглинання. Композиція Фібра+Полімер забезпечує проміжне поліпшення.

Висновки. В роботі досліджено вплив поліпропіленового фіброволокна та полімерного модифікатора на фізичні та механічні властивості укочуваного бетону (RCC). Встановлено, що додавання поліпропіленової фібри значно підвищує міцність бетону на стиск та розтяг при згині, а також покращує стійкість матеріалу до утворення тріщин. Це пояснюється утворенням просторової системи



мікроармування в структурі бетону та сприяє більш рівномірному розподілу напружень.

Використання полімерного модифікатора M10+50 на основі акрилового вінілацетатного кополімеру має незначний вплив на показники міцності, але значно знижує водопоглинання і покращує тріщиностійкість бетону в результаті ущільнення його структури та зменшення капілярної пористості.

Комбіноване використання фіброволокна і полімерного модифікатора в складі бетону проявляє синергічний ефект. В результаті поліпропіленові волокна компенсують зниження міцності, викликане полімерною добавкою.

В цілому, результати роботи свідчать про доцільність використання комбінованої модифікації RCC поліпропіленовою фіброю і полімерним модифікатором для підвищення довговічності, тріщиностійкості та експлуатаційної надійності дорожніх покриттів. Такий підхід сприяє створенню економічно ефективних і зносостійких бетонних покриттів з поліпшеними деформаційними характеристиками, що є важливим для сучасного дорожнього будівництва.

1. Report on Roller-Compacted Mass Concrete (ACI 207.5R-11) **2.** Rozmus, D., Sobol, K., Loik, M., & Hunyak, O. MIX DESIGN AND LABORATORY COMPACTION METHODS OF RCCP—A REVIEW. Theory and Building Practice. Vol. 6, No. 2, 2024 **3.** Adaska, W. S. (2006). Roller-compacted concrete (RCC). Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials, 595. **4.** LaHucik, J., Dahal, S., Roesler, J., & Amirkhanian, A. N. (2017). Mechanical properties of roller-compacted concrete with macro-fibers. Construction and building materials, 135, 440-446. **5.** Markiv, T., Sobol, K., Petrovska, N., & Hunyak, O. (2019, August). The effect of porous pozzolanic polydisperse mineral components on properties of concrete. In International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv-Košice-Rzeszów (pp. 275-282). Cham: Springer International Publishing. **6.** Sobol, K., Markiv, T., & Hunyak, O. (2017). Effect of mineral additives on structure and properties of concrete for pavements. SSP J. Civ. Eng, 12, 95-100. **7.** Markiv, T., Solodkyy, S., Sobol, K., & Rachidi, D. (2020, August). Effect of plasticizing and retarding admixtures on the properties of high strength concrete. In International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering (pp. 286-293). Cham: Springer International Publishing. **8.** Solodkyy, S., Markiv, T., Sobol, K., & Hunyak, O. (2017). Fracture properties of high-strength concrete obtained by direct modification of structure. In MATEC web of conferences (Vol. 116, p. 01016). EDP Sciences. **9.** Turba, Y., Sobol, D. M., Markiv, T., & Blikharskyy, Z. (2025, September). The Influence of Basalt

Fibres on Properties of Concrete Under Load. In International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv-Košice-Rzeszów (pp. 487-495). Cham: Springer Nature Switzerland. **10.** Turba, Y., & Solodkyy, S. (2020, August). Crack resistance of concretes reinforced with polypropylene fiber. In International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering (pp. 474-481). Cham: Springer International Publishing.

REFERENCES:

1. Report on Roller-Compacted Mass Concrete (ACI 207.5R-11) **2.** Rozmus, D., Sobol, K., Loik, M., & Hunyak, O. MIX DESIGN AND LABORATORY COMPACTION METHODS OF RCCP—A REVIEW. Theory and Building Practice. Vol. 6, No. 2, 2024 **3.** Adaska, W. S. (2006). Roller-compacted concrete (RCC). Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials, 595. **4.** LaHucik, J., Dahal, S., Roesler, J., & Amirkhanian, A. N. (2017). Mechanical properties of roller-compacted concrete with macro-fibers. Construction and building materials, 135, 440-446. **5.** Markiv, T., Sobol, K., Petrovska, N., & Hunyak, O. (2019, August). The effect of porous pozzolanic polydisperse mineral components on properties of concrete. In International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv-Košice-Rzeszów (pp. 275-282). Cham: Springer International Publishing. **6.** Sobol, K., Markiv, T., & Hunyak, O. (2017). Effect of mineral additives on structure and properties of concrete for pavements. SSP J. Civ. Eng, 12, 95-100. **7.** Markiv, T., Solodkyy, S., Sobol, K., & Rachidi, D. (2020, August). Effect of plasticizing and retarding admixtures on the properties of high strength concrete. In International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering (pp. 286-293). Cham: Springer International Publishing. **8.** Solodkyy, S., Markiv, T., Sobol, K., & Hunyak, O. (2017). Fracture properties of high-strength concrete obtained by direct modification of structure. In MATEC web of conferences (Vol. 116, p. 01016). EDP Sciences. **9.** Turba, Y., Sobol, D. M., Markiv, T., & Blikharsky, Z. (2025, September). The Influence of Basalt Fibres on Properties of Concrete Under Load. In International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv-Košice-Rzeszów (pp. 487-495). Cham: Springer Nature Switzerland. **10.** Turba, Y., & Solodkyy, S. (2020, August). Crack resistance of concretes reinforced with polypropylene fiber. In International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering (pp. 474-481). Cham: Springer International Publishing.

Petrovska N.I. [1; ORCID ID: 0009-0007-6129-5569],
PhD in Engineering, Associate Professor τ ,
Turba Y.V. [1; ORCID ID: 0000-0003-3692-8890],

THE EFFECT OF FIBER AND POLYMER MODIFIER ON THE PROPERTIES OF ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC)

The article presents the results of a comprehensive study of the influence of polypropylene fiber and polymer modifier M10+50 on the physical and mechanical characteristics of roller compacted concrete (RCC), which is becoming increasingly popular in road construction due to its cost-effectiveness and high technological efficiency. The relevance of the work is due to the growing requirements for strength, durability, and crack resistance of road pavements operated under conditions of heavy traffic loads.

The authors justify the choice of two types of modifiers - Fibermesh 150 polypropylene fiber and a polymer emulsion based on acrylic vinyl acetate copolymer and analyze the peculiarities of their action in the RCC structure.

Experimental studies have shown that the introduction of polypropylene fiber ensures a stable increase in compressive and flexural strength at all stages of hardening, improves the energy characteristics of destruction, and effectively reduces the formation of shrinkage microcracks. Although the polymer modifier slightly reduces the initial strength, it significantly improves the structure of concrete, reducing its water absorption and increasing its crack resistance. It has been shown that the combined use of polymer and fiber creates a synergistic effect: the polymer compacts the structure, while the fiber compensates for the loss of strength and enhances crack resistance. As a result, it was possible to obtain concrete with characteristics that exceed the control composition in a number of operationally important parameters.

The effect of modifiers on the modulus of elasticity, brittleness criterion, average density, moisture content, and water absorption of RCC was studied separately.

The results obtained demonstrate the effectiveness of the combined modification of RCC and indicate the feasibility of its use in road structures with increased performance requirements. The proposed approach allows for increased crack resistance, wear resistance, and load-bearing capacity of rolled concrete, ensuring

economically justified reinforcement of road pavements in modern operating conditions.

Keywords: road pavement, roller compacted concrete (RCC), polypropylene fiber, polymer modifier, flexural and compressive strength.

Отримано: 18 серпня 2025 року
Прорецензовано: 11 вересня 2025 року
Прийнято до друку: 26 вересня 2025 року