

УДК 666.972.16

Олександра Дорошенко¹

¹ Доцент, Кафедра залізничної колії та колійного господарства, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. І. Огієнка, 19, м. Київ, 03049, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6724-0709>

* Автор, відповідальний за листування: sane4kador@gmail.com

РОЗРОБКА ПРИНЦИПІВ МОДИФІКАЦІЇ БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

У статті розглядається обґрунтування використання базальтового волокна, як перспективного матеріалу, за допомогою якого можливо отримати новий клас будівельних матеріалів.

У результаті встановлено, що збільшення температури сприяє підвищенню лугостійкості волокна. Втрата маси при витримці в лужному розчині після 28 діб становить близько 5 %, тоді як початкове волокно за цей час втрачає понад 30 % маси волокна. Подальше збільшення температури ізотермічної витримки не ефективно через зниження лугостійкості волокон та економічної недоцільності.

Для пояснення процесів, що відбуваються в структурі волокна в процесі його термічної обробки, були отримані рентгенограми і спектри вихідного і термообробленого волокна.

У процесі термообробки від 300 до 500 °С відбуваються процеси заліковування дефектів, зміни хімічного складу та структури поверхні волокон в результаті окислення $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$ та утворення залізкокисневих тетраедрів $[FeO_4]Na$ із залученням на поверхню волокон лужних катіонів.

Обґрунтовано доцільність термічної обробки базальтового волокна при температурі 500 °С, що приводить до ущільнення структури фібри та сприяють підвищенню її лугостійкості, що підтверджується морфоструктурними особливостями поверхні термообробленого базальтового волокна, витриманого у цементному розчині.

Ключові слова: базальтове волокно, транспортне будівництво, термічна обробка, структура фібри, лугостійкості волокон, рентгенограми, спектри.

Вступ. Серед характеристик фібробетону зазвичай виділяють його міцність при згинанні та стисканні. У фібробетону значення цього показника перевищує на 10...15% значення звичайного бетону. В конструкціях використовують тільки фібробетон або фібра та стрижнева або дротяна арматура. Вітчизняний та зарубіжний досвід показує, що фібробетон є універсальним матеріалом і знаходить все більше застосування в галузі транспортного будівництва.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Протяжність мережі доріг з цементобетонними покриттями у країнах, таких як Німеччина, становлять 31 %, США – 35 %, у Бельгії – 41 %. Середній термін служби цементобетонних покриттів становить понад 20 років. Навіть у тих країнах де асфальтобетонні покриття мають економічні переваги в порівнянні з цементобетонними, з метою вдосконалення та розвитку конкуруючої технології, за рахунок державних субсидій підтримується будівництво цементобетонних покриттів на рівні 10...20 % загального обсягу будівництва автомобільних доріг з капітальними типами покриттів [1,2]. У

70 роки в Радянському союзі почалося масове будівництво цементобетонних дорожніх покриттів із застосуванням машин із ковзною опалубкою на гусеничному ході. Однак практика експлуатації таких покриттів у Радянському Союзі виявила низку суттєвих недоліків. З'явилися руйнування в температурних швах, лушення поверхневого шару бетону, відколи кромок плит і кутів, утворення вибоїн. Причиною передчасних пошкоджень покриттів, як правило, були порушення технології будівництва, дефіцит якісних цементів, використання низьких марок бетону, недостатнє повітрявтягування у бетон, надмірна дія сольових розчинів на ранній стадії твердіння бетону [3,4].

На відміну від Радянського Союзу, у багатьох країнах світу паралельно з будівництвом асфальтобетонних покриттів продовжувалося будівництво цементобетонних покриттів. Стабільне транспортно-експлуатаційні характеристики та висока довговічність довели їхню перевагу перед покриттями, побудованими із застосуванням органічних в'язучих.

Цементобетонні покриття мають високу розподільну здатність, незначне зношування при стиранні, високий коефіцієнт зчеплення, що мало залежить від зволоження покриття. Міцнісні та деформативні характеристики цементобетону практично не змінюються при зміні температури, вологості та швидкості навантаження. Під час руху транспорту на дорогах з такими покриттями витрачається приблизно на 5...10 % менше палива, ніж на асфальтобетонних. Крім того, для виробництва цементобетонних покриттів є великі сировинні ресурси [5,6].

Сучасні технології будівництва цементобетонних покриттів припускають повну автоматизацію основних процесів з укладання та ущільнення бетонних сумішей, обробки поверхні бетону, влаштування температурних швів та догляду за бетоном.

В останні роки спостерігається тенденція створення дорожніх бетонів підвищеної міцності та довговічності. Це досягається шляхом модифікації структури бетону хімічними добавками: пластифікуючими, повітрявтягуючими та газоутворюючими [7,6]. Розроблено нове покоління високоякісних бетонів (High performance concrete), що мають підвищену морозостійкість, ранню міцність (через 24 години не менше 35 МПа) та інші високі будівельно-технічні властивості. Подібні бетони використовують і в нашій країні, в тому числі на об'єктах транспортного будівництва.

У промислово розвинених країнах (США, Канаді, Австралії, Великій Британії, Німеччині, Швеції, Норвегії, Іспанії та багатьох інших) розширюється будівництво покриттів автомобільних доріг із жорстких цементобетонних сумішей, що ущільнюються укочуванням [8,9].

Під бетоном, що укочується, мають на увазі жорсткий цементобетон, що транспортується великовантажними автосамоскидами або бетонозмішувачами на ділянку будівництва і ущільнюється котками різних типів. Такі бетони можливо використовувати при спорудженні дамб і підпірних стінок гребель. У країнах Європи і Північної Америки бетон у транспортному будівництві використовують при влаштуванні шарів покриттів доріг, призначених для руху важких транспортних засобів (контейнеровози, великовантажних військових автомобілів, машин лісотехнічної промисловості); контейнерних терміналів, автостоянок; під'їзних, сільських, лісових доріг із високими транспортними навантаженнями; другорядних доріг та вулиць, місцевих доріг та автомагістралей, автомобільних під'їздів до аеропортів, злітно-посадкових смуг аеродромів; як шар посилення при реконструкції старих дорожніх покриттів [10].

Аналіз техніко-експлуатаційних показників всіх типів волокон, що використовуються в даний час у дорожньому будівництві, дозволяє говорити про те, що найбільш доцільно як армуючий елемент в цементобетон використовувати базальтове волокно [11,12,13].

В умовах дефіциту коштів назріла необхідність розробити прийнятну з фінансової та технічної точок зору програму будівництва магістральних доріг із використанням фібробетону у конструктивних шарах дорожнього одягу.

Сучасні умови дорожнього будівництва диктують широке використання відходів промисловості – шлаки, горілі сланці відвалів кам'яновугільних шахт, золи, а також практично невичерпні ресурси

– крейдянні поклади та магматичні породи (базальти), які нині мають мале застосування в транспортному будівництві. Враховуючи умови та світовий досвід, доцільно прискорити розробки в галузі технології та розрахунку фібробетону, ширше застосовувати фібробетонні конструкції при проектуванні об'єктів транспортного будівництва, та використовувати як фібру, матеріали оптимальні за вартістю, а також за обсягом покладів в Україні.

Базальтові волокна належать до сучасних ефективних матеріалів, що відрізняються високими фізико-механічними показниками і можуть використовуватися у великому діапазоні температур.

Отримання фібробетону в сучасному будівництві на основі базальтового волокна є перспективним, оскільки вони працюють в агресивних середовищах (стійкість до кислот та лугів), мають гарні експлуатаційні, фізико-механічні характеристики. Всі ці властивості базальтових волокон спричиняють актуальність створення високоефективних будівельних матеріалів та виробів для різних напрямків будівельної галузі. [14]


Встановлено [15], що волокно, що знаходиться в розчині протягом гідратації цементу, характеризується недостатньою лугостійкістю.

Мета і завдання дослідження. Як зазначалося раніше [15], тривале зберігання фібри у розчині сприяє її розчиненню. У зв'язку з цим актуальна розробка способів модифікації поверхневого шару базальтового волокна, які забезпечать високу корозійну стійкість.

Підвищити ефективність використання базальтового волокна у цементобетоні можна шляхом термічної обробки волокна.

Матеріали та методи дослідження. Для вивчення впливу термообробки на властивості волокон фібру піддавали нагрівання в діапазоні температур від 300 до 700 °С з кроком 100 °С. Ізотермічна витримка становила 30 хв. Охолодження відбувалось за кімнатною температурою в повітряному середовищі (табл. 1).

Таблиця 1. Волокно, модифіковане за градієнтом теплової обробки

Виробник	300 ⁰ С	400 ⁰ С	500 ⁰ С	600 ⁰ С	700 ⁰ С
ТОВ Армбуд					
	Колір нормальний	Колір нормальний	Колір освітлений	Зміни в кольорі – більш червоний	Зміни в кольорі – більш червоний

Час температурної обробки був вибраний дослідним шляхом і склав 30 хв.

У процесі проведення досліджень відзначено суттєву зміну кольору волокна залежно від температури обробки (табл. 1). Ймовірним поясненням цього факту є окислення заліза у структурі волокна, внаслідок цього волокно набуло червоного відтінку.

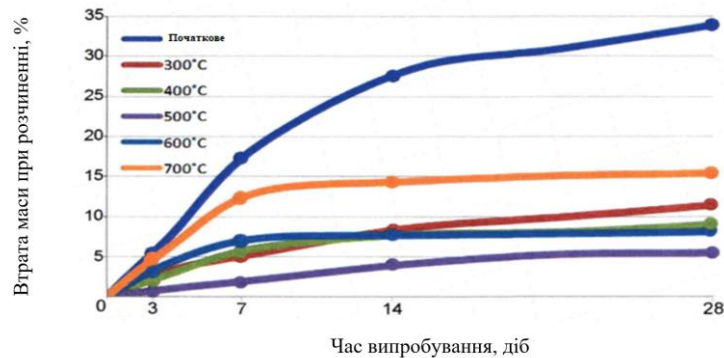


Рис. 1. Втрати маси волокна при розчиненні залежно від часу випробування



Рис. 2. Втрати маси при розчиненні залежно від температурної обробки після витримання в лужному середовищі протягом 28 діб

У результаті встановлено, що збільшення температури з 300 до 500 °C сприяє підвищенню лугостійкості волокна. Втрати маси при витримці в лужному розчині після 28 діб становить близько 5 %, тоді як початкове волокно за цей час втрачає понад 30 % маси волокна. Подальше збільшення температури ізотермічної витримки не ефективно через зниження лугостійкості волокон та економічної недоцільності.

При аналізі мікроструктури як початкового, так і термообробленого армуючого компонента особливих змін немає (рис. 3). Це стосується як розміру (діаметра) (рис. 3 а, г), так і поверхні волокон (рис. 3 б, г). Діаметр окремих волокон коливається у широкому діапазоні – від 2 до 30 мкм. Поверхня фібри досить гладка, проте в окремих частинах її покривають глобулярні утворення, імовірно, продуктів карбонатації, розміром до 1 мкм.

Однак, якщо поверхня вихідної фібри досить сильно координувана (рис. 4, а – в), то після термічної обробки вона покрита глобулярними утвореннями (рис. 4, г – е). На зразках вихідного анізотропного матеріалу є «виїдені» ділянки, поздовжні «борозни» у напрямку витягування волокон, що може говорити про їх внутрішню структуру (рис. 4, б, в). При цьому руйнування відбувається по найбільш слабкій частині – межі розділу, імовірно, окремих ниток волокна з алюмосилікатних ланцюгів. Якщо розглядати ділянку потверджену корозії, вона має чітку межу (рис. 4, б) і глибину вилугування до 400 нм (рис. 4, в). Однак, реальна величина руйнування більша через корозію всього поверхневого шару неупорядкованого алюмосилікатного скла. На самих волокнах є глобулярна речовина, яку можна віднести як до рентгеноаморфного карбонату кальцію, так і до продуктів реакції лугу з алюмосилікатним матеріалом самої фібри.

На волокнах після термічної обробки явних слідів вилугування не виявлено (рис. 4, г – е). Привертає увагу відсутність поздовжніх «борозен», що є наслідком великої стійкості

модифікованої базальтової мікрофібри до лужного середовища. Загалом можна говорити, що морфологія поверхні волокна, підданого термічній обробці, не зазнає серйозних змін під дією агресивного середовища цементного молока (рис. 3).

Низька лугостійкість початкового базальтового волокна може визначатися кількома факторами. В результаті різкого охолодження розплаву при формуванні волокон у них фіксується неоднорідна об'ємна та поверхнева пухка високотемпературна структура. При цьому волокно характеризується наявністю дефектів поверхні (мікротріщини, мікропори, обриви зв'язків тощо). Усе це разом інтенсифікує процес розчинення силікатного каркаса.

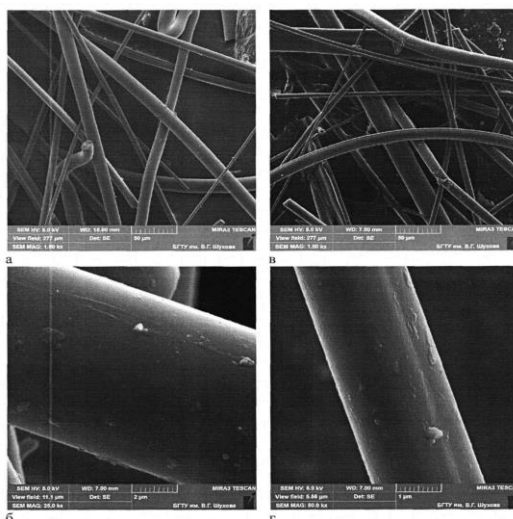


Рис. 3. Мікроструктура базальтового волокна:
а, б – початкового; в, г – після термічної обробки при 500 °С

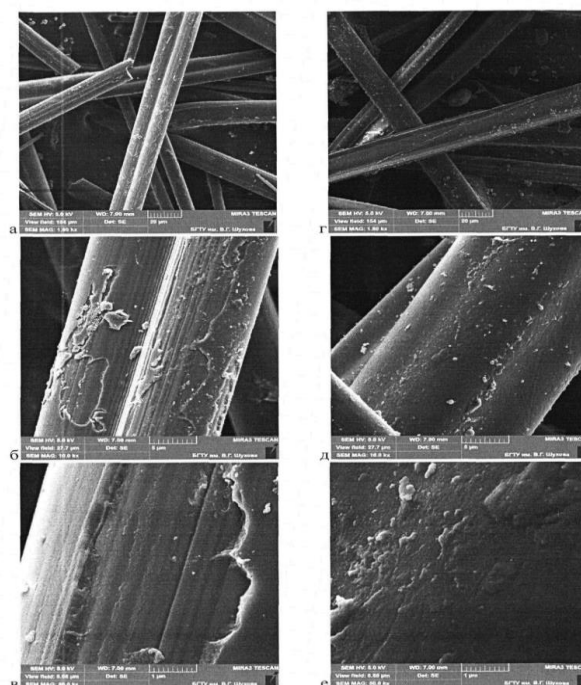


Рис. 4. Вплив лужного середовища модельної системи на мікроструктуру базальтового волокна:
а – в початкового; г – е – після термічної обробки при 500 °С

У процесі термообробки від 300 до 500 °С відбуваються процеси заліковування дефектів, зміни хімічного складу та структури поверхні волокон в результаті окислення $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$ та утворення залізоокисневих тетраедрів $[FeO_4]Na$ із залученням на поверхню волокон лужних катіонів. Перелічені процеси найбільш активно проходять при 500 °С – температурі близької до температури склування (кордон переходу з твердого в пластичний стан).

При більш високих температурах у базальтових волокнах, насамперед їх поверхні, починаються структурні зміни, пов'язані з передкристалізаційними процесами (600 °С) і кристалізацією (700 °С). Структурні перебудови, пов'язані з кристалізацією, супроводжуються утворенням різного роду дефектів, що роблять матеріал більш активним у хімічному відношенні та призводить до прискорення взаємодії з лугом. При цьому втрати маси волокон збільшуються.

Для пояснення процесів, що відбуваються в структурі волокна в процесі його термічної обробки, були отримані рентгенограми (рис. 5) і спектри (рис. 6) вихідного і термообробленого волокна.

Для отримання уявлень про мікроструктурний стан початкового та термообробленого базальтового волокна використовувались дані рентгенівської дифракції.

Рентгенограми базальтового волокна є типовими дифракційними картинами структурованих аморфних матеріалів з характерним розширеним профілем інтенсивності в області кутів близько 30° (рис. 5).

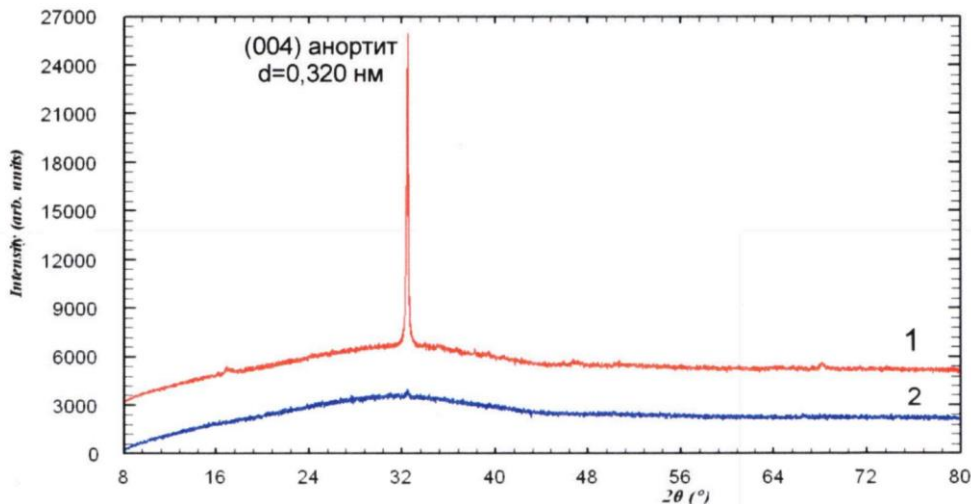


Рис. 5. Рентгенограма базальтового волокна до (1) і після (2) термічної обробки

Характерною особливістю рентгенограм волокна є присутність одного відображення 32,5°, причому найбільш інтенсивно це відображення проявляється на рентгенограмі початкового волокна. Виходячи із загальних уявлень про породоутворюючі мінеральні фази базальтів і на основі рентгенометричної діагностики виконаної із застосуванням дифракційної бази даних, це відображення може бути віднесено до $Ca(Al_2Si_2O_8)$.

Присутність на рентгенограмах відображення цього мінералу можна інтерпретувати як наслідок тонко пластичної форми кристалітів. Ці нанорозмірні мінерали на поверхні волокон відносять до новостворених фаз у процесі витяжки. При термообробці вони зникають з поверхні волокон через структурні перебудови.

Порівняння ІЧ-спектрів базальтового волокна до і після термічної модифікації показало видозміну профілів смуг поглинання алюмосилікатних груп області 1000... 300 cm^{-1} (рис. 6).

Зокрема, термообробка викликає зменшення інтенсивностей смуг поглинання 1019 і 1052 cm^{-1} , характерних для валентних коливань зв'язків Si-O-Si (Al) у ланцюжкових аніонічних

угрупованнях (Q^2) клинопіроксенів. З огляду на це відбувається зростання інтенсивностей смуг каркасних структурних фрагментів (Q^4) у сфері хвильових чисел 1084...1300 див^{-1} .

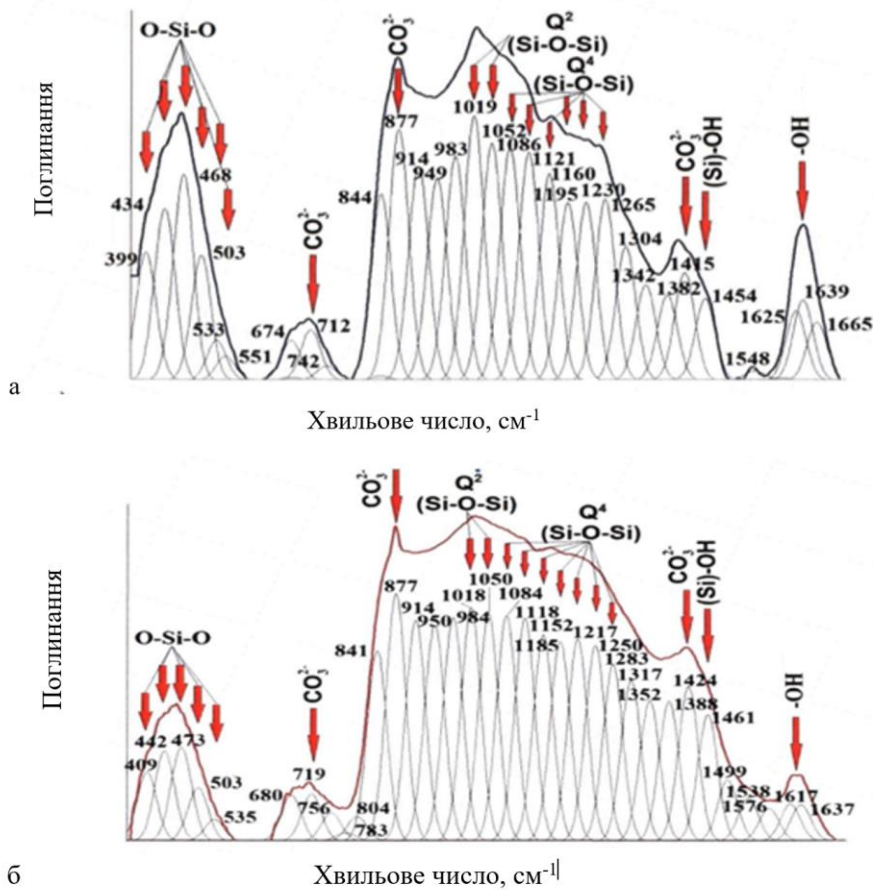


Рис. 6. Порівняння діаграм нормованих профілів ІЧ спектрів початкового (а) та термообробленого (б) волокна

Зазначені обставини свідчать про збільшення рівня полімеризації, т.к. підвищення концентрації каркасних угруповань (Q^4) відбувається за рахунок зменшення кількості ланцюжкових фрагментів (Q^2). Завдяки цьому відбувається ущільнення структури базальтового волокна, що, зрештою, позитивно позначається на стійкості фібри до лужного впливу. Такі структурні зрушення стають можливими через перехід $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$ в результаті термообробки в окислювальних умовах, що відзначається багатьма дослідниками.

Висновки. Обґрунтовано доцільність термічної обробки базальтового волокна при температурі 500 $^{\circ}\text{C}$ з подальшим охолодженням у повітряному середовищі при кімнатній температурі для підвищення його лужної стійкості. Запропоновано модель модифікації базальтового волокна при термічній обробці, засновану на переході $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$ в результаті термообробки в окислювальних умовах. Зміна координаційного оточення, що відбувається при цьому, ініціює утворення зв'язків між $(\text{Si}_2\text{O}_6)^{-1}$ та їх трансформацію в каркасний структурний тип з утворенням залізовмісних плагіоклазових фаз. Дані процеси призводять до ущільнення структури фібри та сприяють підвищенню її лугостійкості, що підтверджується морфоструктурними особливостями поверхні термообробленого базальтового волокна, витриманого у цементному розчині.

ЛІТЕРАТУРА

1. Толмачев С. Н. Развитие теории разрушения и стойкости дорожных цементных бетонов при действии агрессивных факторов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Укр. держ. акад. залізн. тр-ту. Харьков, 2013. 40 с.
2. Бражник А. В. Монолитные дорожные цементные бетоны высокой морозостойкости с органоминеральным комплексом и фиброй: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Укр. держ. ун-т залізн. тр-та. Харьков, 2015. 26 с.
3. L.Ferrante, J.Tirillò, F.Sarasini, F.Touchard, R.Ecault, M. A.Vidal Urriza, L.Chocinski-Arnault, D.Mellier: Behaviour of woven hybrid basalt-carbon/epoxy composites subjected to laser shock wave testing: Preliminary results, *Composites Part B: Engineering*, 2015, № 78. P. 162. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.03.084>.
4. Milind V. Mohod Performance of Polypropylene Fibre Reinforced Concrete. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 2015. Vol. 12, P. 28–36. <https://doi.org/10.9790/1684-12112836>.
5. Subagia I. A., Kim Y., Tijing L. D., Kim C. S., Shon H. K. Effect of stacking sequence on the flexural properties of hybrid composites reinforced with carbon and basalt fibers. *Composites Part B: Engineering*, 2014. 58. P. 251-258. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.027>
6. Dorigato A., Pegoretti A. Flexural and impact behaviour of carbon/basalt fibers hybrid laminates, *Journal of Composite Materials*, 2014. Vol. 48(9). P. 1121-1130. <https://doi.org/10.1177/0021998313482158>.
7. Lim J. II., Rhee K. Y., Kim H. J., Jung D. H. Effect of stacking sequence on the flexural and fracture properties of carbon/basalt/epoxy hybrid composites. *Carbon Letters*, 2014. Vol. 15(2). P. 125-128. <https://doi.org/10.5714/CL.2014.15.2.125>.
8. Khamees S.S., Kadhum M.M., Nameer A.A. Effects of Steel Fibers Geometry on the Mechanical Properties of SIFCON Concrete. *Civ. Eng. J*, 2020. Vol. 6. P. 21–33. <http://dx.doi.org/10.28991/cej-2020-03091450>.
9. Ganesh, A.C., Sowmiya, K., Muthukannan M. Investigation on the effect of steel fibers in geopolymer concrete. *IOP Conf. Series: Mater. Sci. Eng.* 2020. Vol. 872. P. 012156. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/872/1/012156>.
10. Chatiras N., Georgiopoulos P., Christopoulos A., Kontou E. Thermomechanical characterization of basalt fiber reinforced biodegradable polymers. *Polym. Compos.* 2019. Vol. 40. P. 4340-4350 <https://doi.org/10.1002/pc.25295>.
11. Kytinou V.K., Chalioris C.E., Karayannis C.G. Analysis of residual flexural stiffness of steel fiber-reinforced concrete beams with steel reinforcement. *Materials*, 2020. Vol. 13(12). P. 2698. <https://doi.org/10.3390/ma13122698>.
12. Wang G., Zhang D., Wan G., Li B., Zhao G. Glass fiber reinforced PLA composite with enhanced mechanical properties, thermal behavior, and foaming ability. *Polymer (Guildf)*, 2019. Vol. 181, P. 121803. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.121803>
13. Overkamp T, Mahltig B, Kyosev Y. Strength of Basalt Fibers Influenced by Thermal and Chemical Treatments. *Journal of Industrial Textiles*, 2018. Vol. 47(5). P. 815-833. <https://doi.org/10.1177/1528083716674905>
14. Sudha. C, Mohan G. S. Behaviour of fibre reinforced concrete using basalt fibre in beam column joint under cyclic loading. *ARNP Journal of Engineering and Applied Science*, 2019. Vol. 14. P. 1463-1470.
15. Дорошенко О.Ю. Обґрунтування можливості використання базальтового волокна як компонента цементобетону для транспортного будівництва. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ Харків*, 2021. вип.198. С. 22-29.

REFERENCES

1. Tolmachev S. N. (2013). Razvitie teorii razrusheniya i stojkosti dorozhnyh cementnyh betonov pri dejstvii agressivnyh faktorov [Development of the theory of destruction and resistance of road cement concrete under the action of aggressive factors]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Harkov: Ukr. derzh. akad. zaliznichn. tr-ra [in Ukrainian].
2. Brazhnik A. V. (2015). Monolitnye dorozhnye cementnye betony vysokoj morozostojkosti s organomineralnym kompleksom i fibroj [Monolithic road cement concretes of high frost resistance with organo-mineral complex and fiber]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Harkov: Ukr. derzh. akad. zaliznichn. tr-ra [in Ukrainian].
3. L.Ferrante, J.Tirillò, F.Sarasini, F.Touchard, R.Ecault, M. A.Vidal Urriza, L.Chocinski-Arnault, & D.Mellier. (2015). Behaviour of woven hybrid basalt-carbon/epoxy composites subjected to laser shock wave testing: Preliminary results, *Composites Part B: Engineering*, 78, 162–173. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.03.084>.
4. Milind V. (2015). Mohod Performance of Polypropylene Fibre Reinforced Concrete. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 12(1), 28–36. <https://doi.org/10.9790/1684-12112836>.
5. Subagia, I. A., Kim, Y., Tijing, L. D., Kim, C. S., & Shon, H. K. (2014). Effect of stacking sequence on the flexural properties of hybrid composites reinforced with carbon and basalt fibers. *Composites Part B: Engineering*, 58, 251-258. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.027>.
6. Dorigato, A., & Pegoretti, A. (2014). Flexural and impact behaviour of carbon/basalt fibers hybrid laminates. *Journal of Composite Materials*, 48(9), 1121-1130. <https://doi.org/10.1177/0021998313482158>.
7. Lim, J. II., Rhee, K. Y., Kim, H. J., & Jung, D. H. (2014). Effect of stacking sequence on the flexural and fracture properties of carbon/basalt/epoxy hybrid composites. Effect of stacking sequence on the flexural and fracture properties of carbon/basalt/epoxy hybrid composites, *Carbon Letters*, 15(2), 125–128. <https://doi.org/10.5714/CL.2014.15.2.125>.
8. Khamees, S. S., Kadhum, M. M., & Nameer, A. A. (2020). Effects of steel fibers geometry on the mechanical properties of SIFCON concrete. *Civil Engineering Journal*, 6(1), 21-33. <http://dx.doi.org/10.28991/cej-2020-03091450>.
9. Ganesh, A. C., Sowmiya, K., & Muthukannan, M. (2020, June). Investigation on the effect of steel fibers in

geopolymer concrete. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 872, No. 1, p. 012156). IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/872/1/012156>.

10. Chatiras, N., Georgiopoulos, P., Christopoulos, A., & Kontou, E. (2019). Thermomechanical characterization of basalt fiber reinforced biodegradable polymers. *Polymer Composites*, 40(11), 4340-4350. <https://doi.org/10.1002/pc.25295>.

11. Kytinou, V. K., Chalioris, C. E., & G. Karayannis, C. (2020). Analysis of residual flexural stiffness of steel fiber-reinforced concrete beams with steel reinforcement. *Materials*, 13(12), 2698. <https://doi.org/10.3390/ma13122698>.

12. Wang, G., Zhang, D., Wan, G., Li, B., & Zhao, G. (2019). Glass fiber reinforced PLA composite with enhanced mechanical properties, thermal behavior, and foaming ability. *Polymer*, 181, 121803. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.121803>.

13. Overkamp, T., Mahltig, B., & Kyosev, Y. (2018). Strength of basalt fibers influenced by thermal and chemical treatments. *Journal of Industrial Textiles*, 47(5), 815-833. <https://doi.org/10.1177/1528083716674905>.

14. Sudha, C., & Mohan, G. S. (2019). Behaviour of fibre reinforced concrete using basalt fibre in beam column joint under cyclic loading. *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, 14(8), 1463-1470.

15. Doroshenko, O.Yu. (2021) Obgruntuvannya mozhlivosti vikoristannya bazaltovogo volokna yak komponenta cementobetonu dlya transportnogo budivnictva [Justification of the possibility of using basalt fiber as a component of cement concrete for transport construction]. Harkiv: Zbirniku naukovih prac UkrDUZT Harkiv, 198. 22-29 [in Ukrainian].

Oleksandra Doroshenko

Associate Professor, department of railway track and track economy State University of Infrastructure and Technology. St. I. Ohienko, 19, Kyiv, 03049, Ukraine.

DEVELOPMENT OF THE PRINCIPLES OF BASALT FIBER MODIFICATION WITH THE PURPOSE OF INCREASING THE EFFICIENCY OF ITS APPLICATION IN TRANSPORT CONSTRUCTION

The article examines the experimental and theoretical justification of the use of basalt fiber, as a promising material, with the help of which it is possible to obtain a new class of building materials.

As a result, it was established that an increase in temperature contributes to an increase in alkali resistance of the fiber. The mass loss during aging in an alkaline solution after 28 days is about 5%, while the initial fiber loses more than 30% of the fiber mass during this time. A further increase in the temperature of isothermal aging is not effective due to a decrease in alkali resistance of the fibers and economic impracticability.

To explain the processes occurring in the structure of the fiber during its heat treatment, X-ray images and spectra of the original and heat-treated fiber were obtained.

In the process of heat treatment from 300 to 500 °C, the processes of defect healing, changes in the chemical composition and surface structure of the fibers occur as a result of $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$ oxidation and the formation of iron oxide tetrahedra $[FeO_4]Na$ with the attraction of alkaline cations to the surface of the fibers.

The expediency of thermal treatment of basalt fiber at a temperature of 500 °C is substantiated, which leads to compaction of the fiber structure and contributes to increasing its alkali resistance, which is confirmed by the morphostructural features of the surface of heat-treated basalt fiber aged in cement mortar.

Keywords: basalt fiber, transport construction, heat treatment, fiber structure, alkali resistance of fibers, X-ray patterns, spectra.