

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ УКРАЇНСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ТА РОЗРОБЛЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ЇЇ ПОКРАЩЕННЯ

Рибкін В.В., Коваленко В.В., Заяць Ю.Л., Пшінько П.О., Коваленко С.В.,
Яковлєв В.О.

В роботі виявлено причини зниження довговічності залізобетонних шпал, запропоновані шляхи підвищення їх якості.

В работе выявлены причины снижения долговечности железобетонных шпал, предложены пути повышения их качества.

Вітчизняні залізничні колії є стратегічною цінністю держави. По ним, як по кровоносним судинам іде кровотік у здоровому організмі, здійснюється внутрішній вантажний обмін, що підтримує економіку та життєзабезпечення країни. Залізничні перевезення є найбільш дешевим способом доставки вантажів. Крім того, в наслідок вигідного розташування у центрі Європи, наша залізниця забезпечує багато транзитних перевезень та займає перше місце в Європі по обсягу транзитних перевезень. Україна є крупним виробником та активним експортером залізобетонних шпал на просторі СНД. П'ять потужних виробництв спрямовані на виготовлення не лише масової кількості, але і найкращої якості власної продукції.

Шпали, з часу будівництва перших залізниць, увійшли в конструкцію верхньої будови колії у якості одного з найвідповідальніших елементів. На даний час найбільш поширеними опорними конструкціями для рейок, що використовуються на залізничних шляхах України є залізобетонні шпали.

Під час експлуатації шпали підвернені потужним динамічним навантаженням, атмосферній та мікрострумовій корозії, впливу агресивних середовищ, що при неналежній експлуатації можуть додатково руйнувати вироби. З кожним роком вантажний потік на вітчизняних залізницях зростає, що збільшує навантаження на колію та безпосередньо на залізобетонні шпали.

В наслідок вищезгаданих факторів Укрзалізницею у співробітництві з Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту проведено глибокі дослідження по виявленню довговічності залізобетонних шпал на всіх залізницях країни, розслідувані випадки масового виходу шпал з експлуатації, запропоновано шляхи покращення якості вітчизняних шпал.

Об'єктами дослідження в роботі були сировинні матеріали, бетон шпал виготовлених та передчасно зруйнованих шпал.

В роботі використано методи статистичного аналізу довговічності шпал макро- та мікроструктурного та хімічного аналізів, мікрорентгеноспектральний та фрактографічний аналізи, дослідження розмірної відповідності застосованих фракцій заповнювачів конструктивним особливостям залізобетонних шпал СБ-3.

Згідно відповідей на запити про строк експлуатації шпал на різних перегонах і дистанціях та підтверджуючих даних, що наведені в літературних джерелах до 50-70 % шпал, що вийшли зі строю під час експлуатації, були вкладені із заводськими технологічними дефектами, а 80-90 % дефектів виникають на основних етапах технологічного процесу, таких як армування, формування та термообробка водяною парою [1].

За весь час експлуатації залізобетонних шпал був виявлений і класифікований ряд дефектів, які значно знижували термін експлуатації залізничних шпал і в ряді випадків, могли призвести до виникнення аварійних ситуацій на залізницях. До таких дефектів можливо віднести як дефекти, що виникли в наслідок силових та динамічних навантажень на шпалу, так і ті, що виникли через невідповідні фізико-механічні характеристики матеріалів, що використовувалися при виготовленні залізобетонних шпал (недостатня морозостійкість і довговічність бетону внаслідок використання складових матеріалів, непридатних для шпального бетону, невірного підбору складу бетонної суміші та поганого ущільнення її під час виготовлення шпал) та якості виготовлення залізобетонних шпал

(поперечні тріщини в підрейковій частині шпал, заводські сколи бетону по тріщинам, недостатня товщина захисного шару бетону, тощо). Це призводить до значних затрат на роботи, що пов'язані з заміною дефектних шпал.

В результаті збільшених навантажень на колію та деяких недоліків в процесі виробництва з експлуатації масово виходять залізобетонні шпали виробництва 2005-2006 року. Як приклад можна навести наступні залежності, виявлені на Ізюмській дистанційній колії Південної залізниці та на ділянці колії Бахмач-Пас.-Халимонове (рис.1-2).



Рис. 1 – Діаграма частоти появи дефектів залізобетонних залізничних шпал, в залежності від їх виробника.

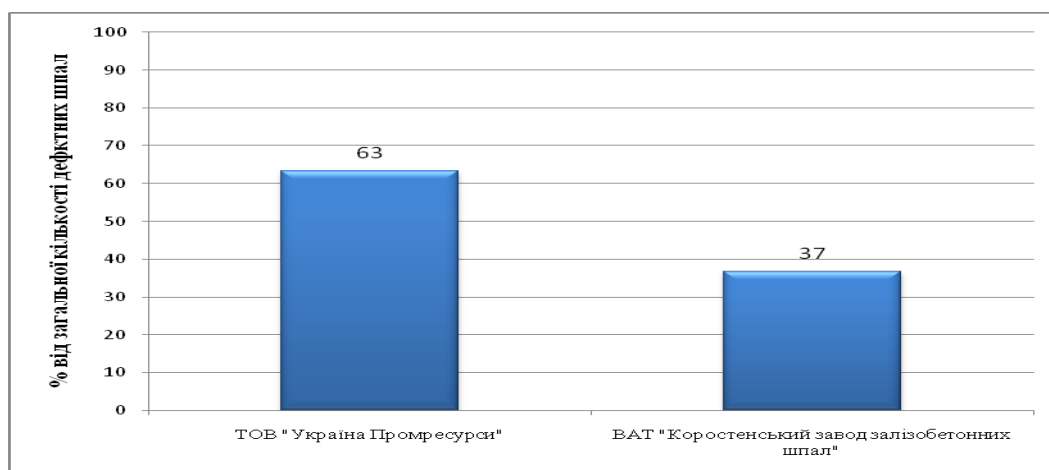


Рис. 2 – Діаграма розподілу дефектних залізобетонних залізничних шпал, що були виявлені на ділянці колії Бахмач-Пас.-Халимонове, поміж підприємствами-виробниками (всі дефектні шпали мали дефект № 41.2 згідно до класифікації, наведеної в ЦП-0150).

Усі виявлені дефекти виникли внаслідок корозії бетону та арматури. Причини передчасного руйнування досліджували методами фізико-хімічних, хімічних, фотокалориметричних, мікрорентгеноспектральних, фрактографічних, мікроструктурних досліджень як самих передчасно зруйнованих шпал, так і зразків бетону на різних етапах виробництва.

Експлуатаційна стійкість бетону значно залежить від динамічних циклічних знакоперемінних навантажень, які прискорюють процеси корозії бетону при одночасному впливі навколишнього середовища та різних агресивних рідин, що виливаються з рухомого складу. Крім того, означені фактори сприяють прискоренню та спрощенню процесу зниження енергетичного рівня структури цементного каменя іншими словами рекристалізації його структурних складових. Ці процеси починаються у першу чергу в приповерхневих ділянках та їх вплив посилюється за рахунок проникнення вологи.

Звісно, що конструкція та технологічні вимоги на виробництво таких відповідальних виробів, як залізобетонні шпали повинні забезпечувати нездатність їх реагування на помилки при виготовленні та експлуатації, але протиріччя закладені вже у взаємодії цих двох факторів. Наприклад, наявність значної долі в щебені фракції 5-25 часток з розміром більшим ніж 15 мм призводить до утворення пустот при утримуванні цих часток при вібраційній обробці на струнах арматури, які розташовані на відстані 15 мм. Дослідження передчасно зруйнованих шпал підтверджує наявність цих пустот (рис.3), які являють собою додаткові концентратори напруги у динамічно навантажених виробах. З огляду на це необхідно передбачити в технічних умовах на виготовлення залізобетонних шпал обмеження кількості щебеню за розмірами часток перевищуючих 15 мм. Пропозицію можна впровадити або шляхом застосування щебеню фракції 5-20, або застосуванням суміші фракцій 5-10 та 5-25. Звичайно подібні технологічні зміни потягнуть за собою зміни технологічних водо-цементних

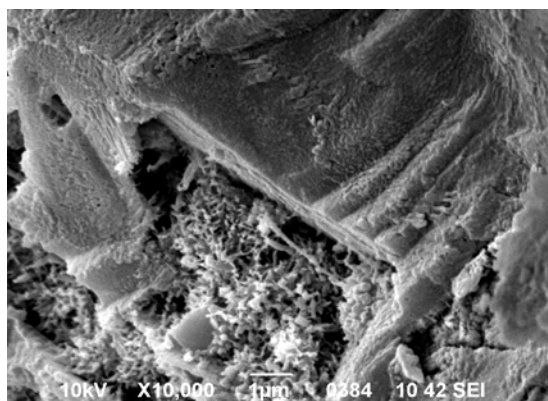
співвідношень, які для попередження додаткового пороутворення можливо компенсувати застосуванням хімічних добавок із стабільним хімічним складом.



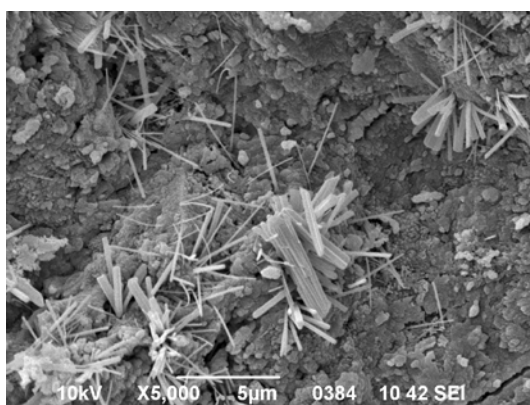
Рис.3 – Пора, що виникла в процесі віброущільнення залізобетонної шпали, що передчасно зруйнована.

Дослідження структурного складу бетону виробів та контрольних кубиків показало невідповідність означених структур (рис.4), що пояснюється неоднаковими режимами термовологої обробки на різних горизонтах камери. Але загальним для структури бетону шпал, які щойно пройшли термовологу обробку є наявність крупних, товщиною до 0,5 мм та довжиною до 5-7 мм кристалів еtringіту.

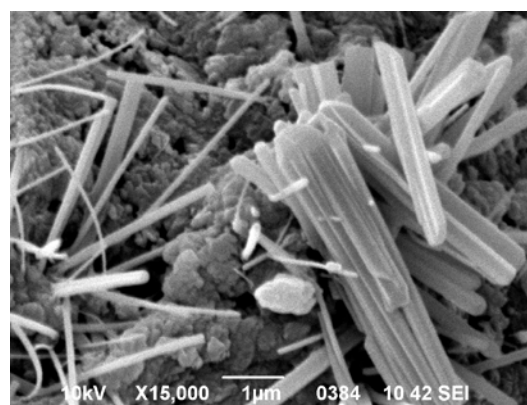
Морфологічні ознаки еtringітних кристалів, та особливості їх розташування в структурі у вигляді паралельних витягнутих пластин сами по собі не додають міцності бетону тому, що в очевидь мають полегшувати крихке інтеркристалітне руйнування, але ці кристали у разі щільного прилягання до матричної фази та один до одного, як у разі представленому на рис. 4, в, при рекристалізаційних процесах, які на перших етапах проходять в приповерхневих ділянках бетону утворюють множинні мікротріщини. Волога, що проникає скрізь ці тріщини прискорює як самі рекристалізаційні процеси, так і провокує лужнокремнієвокислу реакцію [2], продукти якої в передчасно зруйнованих шпалах представлено на рисунку 5.



а

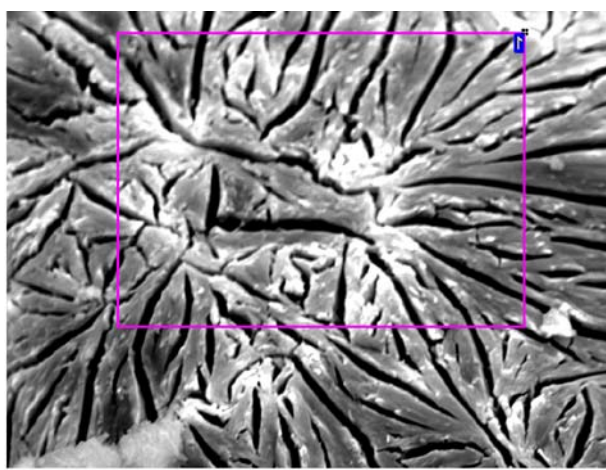


б



в

Рис. 4 – Мікроструктура бетону кубіка (а) та шпали (б, в), що виготовлені одночасно.



50 мкм

Рис. 5 – Сканований спектр дефектної шпали виробництва ЗАТ "Гніваньський завод спеціального бетону" з Придніпровської залізниці

Таблиця 1 – Орієнтовний хімічний склад сканованого спектру 1 на рисунку 5, % мас.

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	71,68	0	0	3,08	12,23	4,6	0,05	0,03	8,25	0	0	0,02	0	0,04	0	0,01

З аналізу спектру видно, що переважно утворюються складні окисли кремнію, кальцію, алюмінію. Сірка, хлор та калій можливо потрапили в структуру під впливом зовнішніх факторів. Такі продукти реакції покривають тонким розтрісканим шаром кожен піщинку та пришвидшують розсіпання бетону на структурні складові.

Дослідження піску 17 українських родовищ показало, що за реакційною спроможністю деякі піски не припустимі до застосування, наприклад, пісок родовища м. Нетішин, Хмельницької області, де реакційна спроможність перевищує норми допустимі державним стандартом ДСТУ Б В.2.7-76-98, п.7.4. більше ніж у 5 разів. Та лише сім родовищ з цією характеристикою придатні до застосування при виробництві залізобетонних конструкцій. Деякі родовища мають не стабільний хімічний склад піску, що розроблений в різних картах. Реакційна спроможність зразків піску в них відрізняється на порядок, при цьому значно відрізняються і характеристики їх зернового складу. Найбільш характерними представниками подібних родовищ є Ігнатпільське родовище піску та родовища ВКП «Явір-Інвест».

Виходячи з даних досліджень для забезпечення гарантованої якості залізобетонних виробів відповідального призначення потрібно проводити систематичний аналіз реакційної спроможності та зернового складу піску.

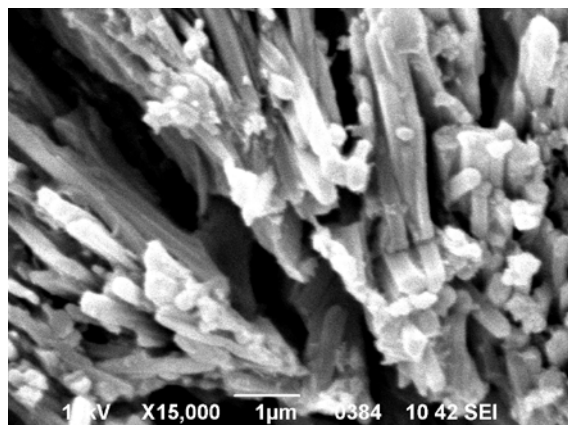
Найбільш характерними недоліками крупних заповнювачів є невідповідність нормам стандарту розмірів гранітних часток та наявність крупних кристалів кварциту та слюди у складі граніту. Як що з другим недоліком, що знижую адгезію та когезію до цементного каменю,

застосування щебеню у попередньо напружених, динамічно навантажених залізобетонних виробках не рекомендовано, то перший недолік можливо усунути застосуванням або роторних дробилок, або лише впровадженням сучасних просіваючих поверхонь. З сьома перевірених кар'єрів жодний зразок не перевищував норми стандарту з реакційної спроможності.

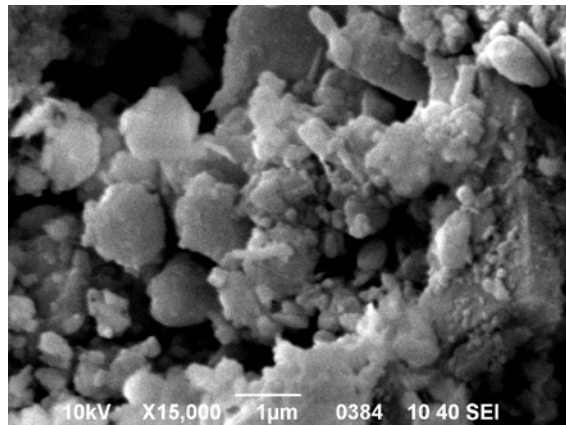
Іншим реакційно здатним компонентом бетонної суміші, що провокує розвиток лужно-кремнієвої реакції в процесі експлуатації залізобетонних виробів є цементне в'язуче. За дослідженнями Йохана Штарка та Бернда Віхта [2] приведена лужність цементу по масовому відсотку діоксиду натрію не повинна перевищувати 0,6. Великі, більші ніж 100 мкм частки цементу також не повинні містити високої концентрації лужних металів, що попереджає розвиток лужно-кремнієвокислої реакції в залізобетонних виробках.

Дослідження бетону передчасно зруйнованих шпал підтверджує механізм структурного руйнування в наслідок наявності крупних рекристалізованих кристалів еtringіту та розтрісканих плівок продуктів лужнокремнієвокислої реакції на частках піску. Крім того, фрактографічний аналіз зломів цих шпал показав наявність в структурі крім великих рекристалізованих еtringітних кристалів (рис. 6, а), структури кальциту, утвореного при вимиванні кальцієвого молочка з структури бетону (рис. 6, б), ватерніту (рис. 6, в), який утворився внаслідок реакції з вуглекислим газом атмосфери у присутності води, кварциту (рис. 6, г), що має шароподібну структуру з малою адгезією та когезією до цементного каменю та забруднену іржею слюди (рис. 6, д), яка має ще менші коефіцієнти адгезії та когезії та на неї майже не лишаються сліди від з'єднання з цементним каменем. Хімічний склад слюди показано в таблиці 2.

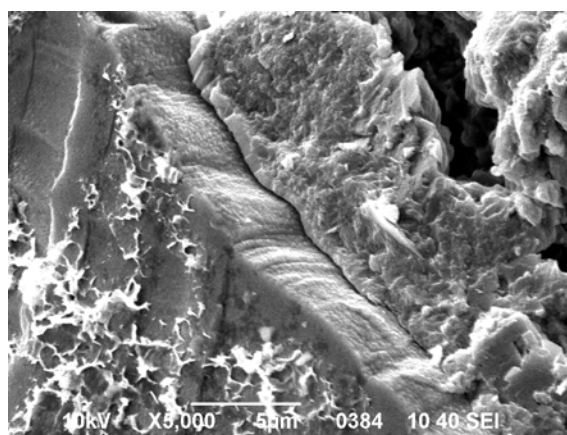
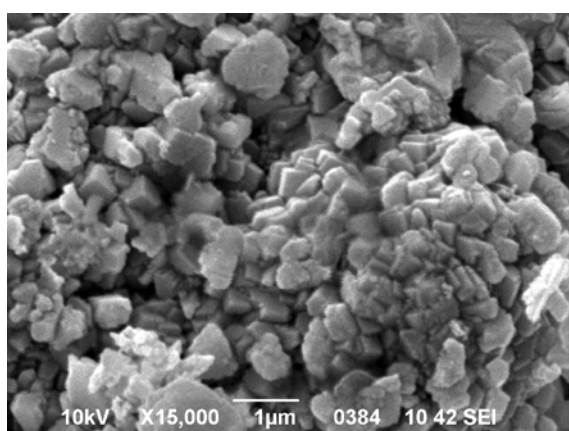
Руйнування внаслідок утворення мікротріщин відбувається також при рекристалізації більш дрібних колоній кристалів еtringіту (рис. 7) хімічний склад яких представлено в таблиці 3.



а

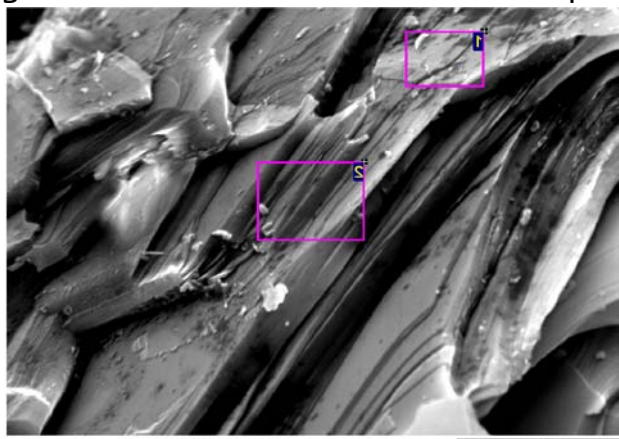


б



в

г



10 мкм

д

Рис.6 – Мікроструктури зломів передчасно зруйнованих шпал.

Таблиця 2 – Орієнтовний хімічний склад сканованих спектрів на рисунку 6, д, % мас.

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	41,7	0,53	5,31	7,5	14,71	0,19	0,35	8,83	0,15	3,91	0,7	0,22	0,15	15,72	0	0
2	42,01	0,3	5,63	7,37	15,9	0,11	0,16	9,42	0,11	3,75	0,03	0,24	0,16	14,11	0,7	0

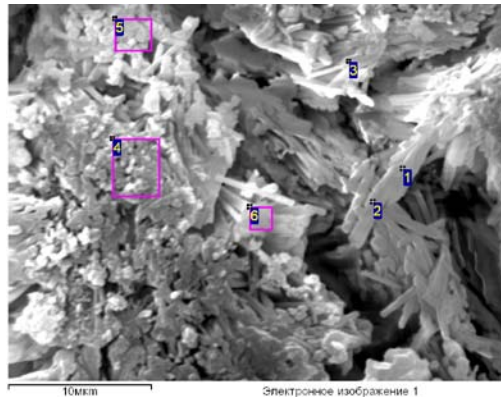


Рис.7 – Мікроструктури злому передчасно зруйнованої шпали.

Таблиця 3 - Хімічний склад сканованих спектрів на рисунку 7, % ат.

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	81,96	0	0	3,3	0,94	4,46	0,04	0,02	8,65	0,03	0,05	0,01	0,02	0,07	0	0
2	81,71	0,08	0	3,1	1,08	4,47	0	0	9,47	0,03	0,06	0	0	0	0	0
3	76,42	0,03	0	4,37	0,56	6,23	0,02	0,07	12,21	0,02	0	0	0	0,09	0	0
4	72,62	0,01	0	4,88	0,36	7,4	0,07	0	14,45	0,01	0	0,03	0	0	0,03	0,13
5	73,84	0,12	0,03	4,49	0,58	6,67	0,03	0,04	13,94	0,01	0,01	0,02	0,06	0,06	0	0,1
6	78,73	0	0,02	2,85	2,56	4,14	0	0,12	11,25	0	0	0,01	0,08	0,04	0,14	0,07

З таблиці 3 видно, що чим більше дисперсність фазових складових, тим вища концентрація в них атомів алюмінію та нижче кремнію (сп.3-5). Для таких областей також характерний підвищений міст хлору та сірки, які прискорюють рекристалізацію та корозію бетону.

Результатом структурної корозії, що включає рекристалізацію нестабільних фазових складових, лужнокремнієвокислу реакцію, виникнення мікротріщин внаслідок низької адгезії до кристалів кварциту та слюди є

передчасне руйнування залізобетонних шпал. Найбільш типові руйнування представлено на рисунку 8.



Рис. 8 – Макроструктура зруйнованих залізобетонних шпал.

З рисунку 8 видно, що структурі зруйнованих шпал притаманні як повздовжні тріщини характеризуючи макроструктурну неоднорідність шпали по перетину та утворення концентраторів напруження в центральних частинах виробів, так і мікроструктурні руйнування, які утворюють сітку тріщин на найменш навантажених ділянках шпал декоруючи великі еtringітні колонії цементних кристалів.

Усі означені дефекти структури призводять до зниження терміну експлуатації шпал до 2-5 років.

Для попередження передчасного руйнування шпал необхідно шляхом забезпечити оптимальну структуру бетону, удосконалити режим термовологої обробки для попередження інтенсивного росту кристалів та виникнення термічних мікротріщин, підвищити щільність бетону та одночасно знизити вміст в ньому цементного в'язучого, зменшенням розміру фракції великого заповнювача підвищити макроструктурну однорідність виробу. Крім того необхідно вести системний контроль приведеної лужності цементу, реакційної спроможності заповнювачів та наявності крупних кристалів кварциту та слюди в щебені.

ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Золотарский, А. Ф. Железобетонные шпалы для рельсового пути / А. Ф. Золотарский, Б. А. Евдокимов, Н. М. Исаев, Л. Г. Крысанов, В. В. Серебренников, В. Ф. Федулов. – М.: Транспорт, 1980.
2. Иохан Штарк, Бернд Вихт. Долговечность бетона.- Киев, Оранта, 2004 г.