

**Плугін А.А., Плугін А.М.**

*Український державний університет залізничного транспорту*

**Забіяка О.А.**

*Мостовипробна станція Департаменту колії та споруд Укрзалізниці*

**Плугін О.А., Мірошніченко С.В.**

*Український державний університет залізничного транспорту*

**МЕХАНІЗМ ВПЛИВУ НАДЛИШКОВОГО ЗАРЯДУ  
НА ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В ПЛИТАХ БМП І ОПОРАХ  
ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ**

**Вступ.** В експлуатації залізничних металевих мостів із безбаластним мостовим полотном БМП існує наукова проблема – виявлення нерозкритого до існуючого часу механізму руйнування залізобетонних плит БМП і необхідність підвищення їх тріщиностійкості. Розвинуті нові уявлення про вплив на виникнення тріщин надлишкових електричних зарядів Землі на основі нової фундаментальної дисципліни – Макроколоїдної хімії та фізико-хімічної механіки Землі.

**Поглиблення уявлень про механізм формування надлишкових зарядів Землі у зоні мостів з безбаластним мостовим полотном.** Як відомо, Земля складається з ядра, мантії і кори. Максимальна температура Землі – близько 6000° С (рис.1). Середній радіус Землі становить ≈6400 км, а середній радіус ядра – 3500 км. У поверхні Землі експериментальна напруженість електричного поля дорівнює  $E = 130$  В/м. У різних місцях Землі це поле може коливатися у межах +200 В/м до -1000 В/м [1]. Головним фактором електричного поля і заряду Землі є термодифузія вільних електронів, що надходять із розпеченого ядра до холодної земної кори. Земна кора є дисперсною системою, що складається із частинок ґрунту і води-електроліту з подвійними електричними шарами ПЕШ. Таким чином створюється електричне поле і заряд Землі по її вертикалі.

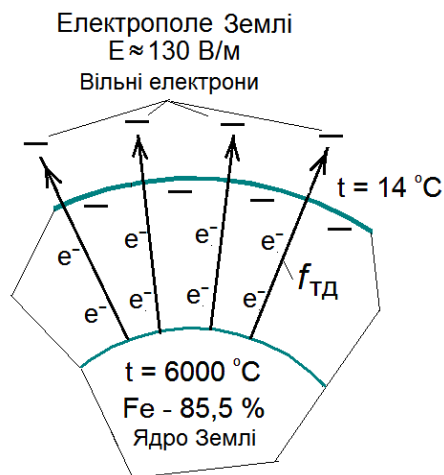


Рис.1. Термодифузія електронів з ядра Землі і формування її електричного поля

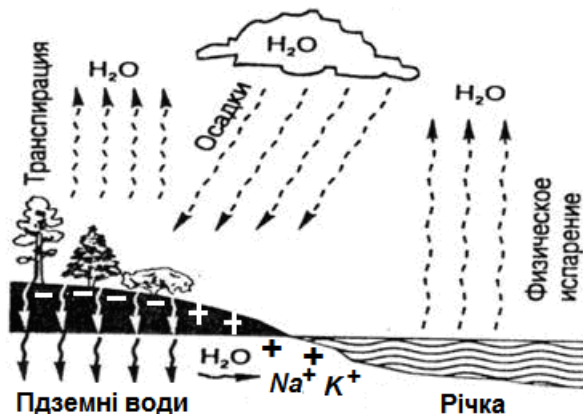


Рис.2. Кругообіг води і виникнення надлишкових зарядів на березі річки

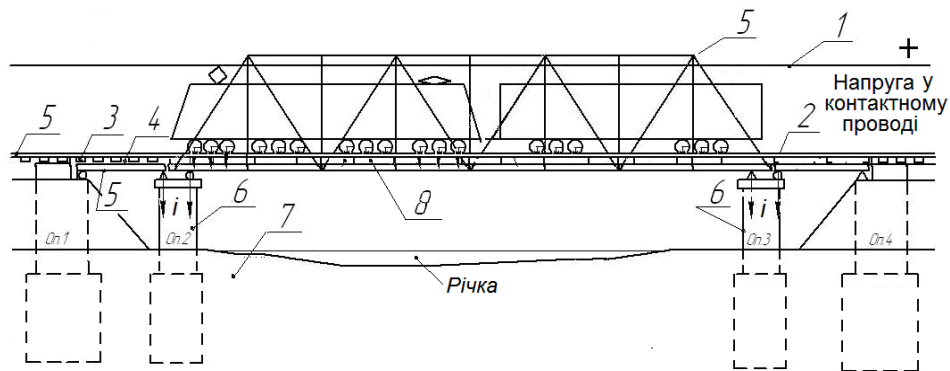
Електричне поле Землі виникає також по горизонталі до її поверхні, зокрема між узбережжям річки та їх руслом, де виникає швидка течія води. Принциповий механізм виникнення позитивного заряду на березі річки витікає з відомих схем кругообігу води в природі, рис. 2. Дощі змивають у водний об'єкт катіони ґрунтових і поверхневих вод.

Можливий вплив на тріщиноутворення плит оказують також струми витoku через рейки й конструкції моста, а далі крізь річку й водонасичений або сильно вологий ґрунт у землю, рис. 3, а.

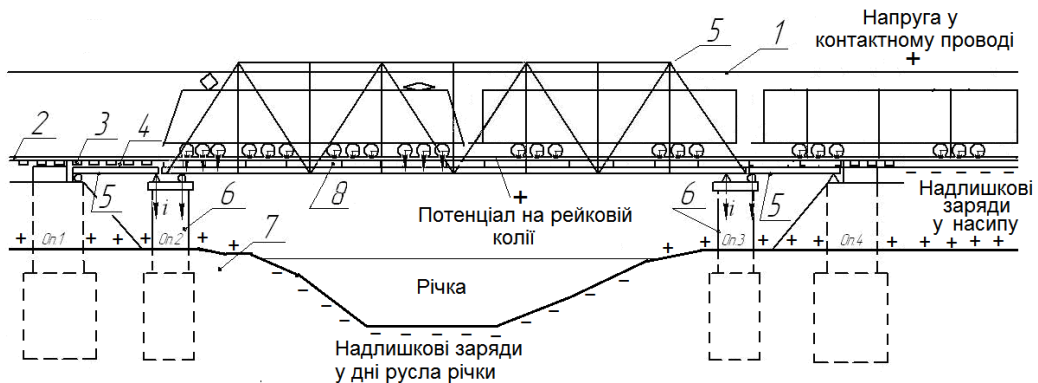
Вільні електрони збираються під землею корою і переходять на частинки ґрунту, створюючи надлишок гідроксильних іонів ОН<sup>-</sup> у водному середовищі. Разом з водою ці іони переміщуються і збираються у верхніх шарах Землі. Такі струми можуть викликати виникнення в капілярах

бетону плит значні по величині негативні потенціали й, відповідно, значні напруження, що розтягують. При надлишкових зарядах Землі умови експлуатації опор і плит БМП різко змінюються. До позитивного заряду від контактного дроту додається зіставний, а може і значно більший заряд від русла річки і верху насипу. На досить сильно вантажонапружених ділянках залізниць тривалість знаходження поїзда на прогоновій споруді й мосту складає 1-6 хв., а інтервал між поїздами 5-15 хв.

а)



б)



в)

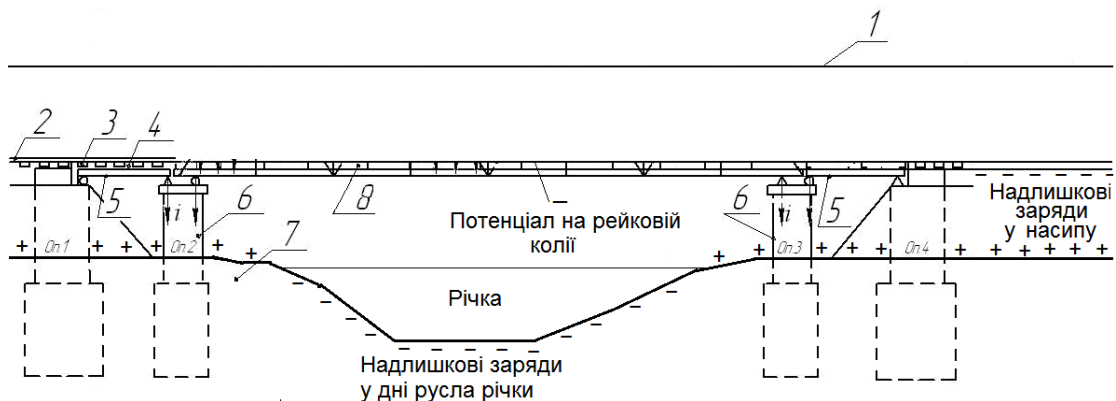


Рис.3. Схеми виникнення надлишкових зарядів в конструкціях залізобетонного мосту: а – за відсутності надлишкових зарядів Землі; б – при нахожденні на мосту поїзда; в - при відсутності поїзда. 1 – контактний провід; 2 – рейки; 3 – шпали; 4 – баласт; 5 – прогонові споруди; 6 – опори; 7– ґрунт; 8 – плити БМП

**Механізм тріщиноутворення у опорах з кам'яною кладкою і кам'яним облицюванням.** На основі висунутої гіпотези розвинуті нові теоретичні уявлення про механізм виникнення тріщин в опорах під дією надлишкових зарядів від струмів витoku і надлишкових зарядів Землі. Ці протилежні заряди (позитивний на рейковій колії і негативний на дні річки) створюють електричне поле, у якому катіони  $Ca^{2+}$  стікають зверху опори вниз і далі у воду річки, яка в свою чергу уносить їх по течії. При цьому на опорі виникає потенціал течії з накопиченням надлишкового заряду з катіонів  $Ca^{2+}$  на виході з капілярів опори і аніонів  $OH^-$  на стінках капілярів у верхній частині опори. Встановлюється режим стаціонарного потоку катіонів  $Ca^{2+}$ , а слідом за ними гідроксильних іонів  $OH^-$  і води з ними.

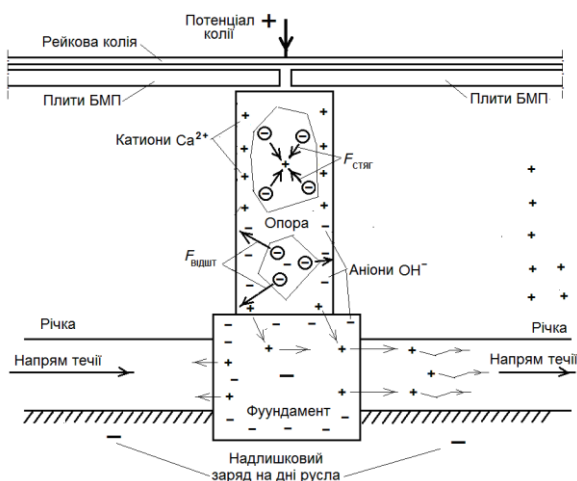


Рис. 4. Схема виникнення тріщин в опорі, яка стоїть в руслі

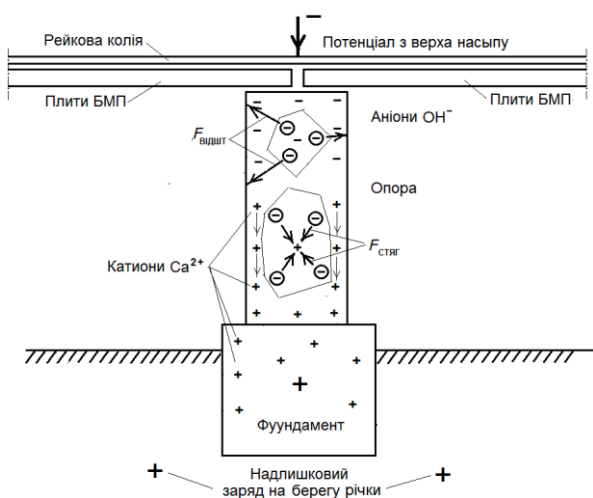


Рис. 5. Схема виникнення тріщин у береговій опорі

Позитивний заряд притягує частки гідросилікатного гелю, і стягує цим кам'яну кладку в середині опори, яка в свою чергу стягує кам'яне облицювання, перешкоджаючи дії повторюваної швидконатікаючої повзучості і виникненню тріщин. Навпаки, накопичення надлишкового негативного заряду у верхній частині опори викликає розпушення цементного каменю і відштовхування частинок гелю, що розтягує кам'яну кладку всередині опори і, відповідно, кам'яне облицювання, утворюючи в ньому тріщини. Надлишкові заряди є поодинокими, тому їх можна представити, по [2] одним центральним зарядом, що дорівнює їх сумі.

Напруженість електричного поля Землі вимірюється на висоті 1 м від її поверхні і відноситься до площі 1 м<sup>2</sup>. Тому питомий надлишковий заряд у 1 м<sup>3</sup> об'єму можна виразити через формулу для напруженості електричного поля по формулі:

$$\Delta E = \frac{\Delta Q}{1^2 \cdot 1} \left( \frac{Kл}{м^2} \right), \quad (1)$$

Тобто напруженість електричного поля Землі - це заряд у 1 м<sup>3</sup> об'єму.

Відповідно, надлишковий заряд у всьому об'ємі опори, що розтягується,

$$\Delta Q = 100 \cdot H^- \cdot B \cdot L \left( \frac{Kл}{м^3} \cdot м^3 = Kл \right) \quad (2)$$

При  $E = 100$  В/м і розмірах  $B = 4$  м;  $H = 4$  м;  $L = 20$  м

$$\Delta Q = 100 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 20 =$$

$$= \left( \frac{Kл}{м^3} \cdot м^3 = Kл \right) = 3,2 \cdot 10^4 \cdot (Kл)$$

По визначенню, напруженість електричного поля - це сила, що діє на одиничний заряд. Тому сила відштовхування між усіма зарядами може бути приблизно розрахована по формулі:

$$F = \frac{E \cdot \Delta Q}{2} \left( \frac{B}{м} \cdot Kл = H \right) \quad (3)$$

Сила відштовхування між частинками гелю у опорі при  $E = 100$  В/м:

$$F = 100 \cdot 3,2 \cdot 10^4 \left( \frac{B}{м} \cdot Kл = H \right) = 3,2 \cdot 10^6 (H)$$

Ця сила передається на кам'яне облицювання, тому напруження у ньому буде дорівнювати:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (4)$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу облицювання,  $m^2$ .

При розмірах кам'яного блока  $0,2 \times 0,2 \times 0,5$  м. розтягувальне напруження:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{3,2 \cdot 10^6}{0,8} \left( \frac{H}{m^2} \right) = 4 \cdot 10^6 \left( \frac{H}{m^2} \right) = \\ &= 4(MПа) = 40 \left( \frac{кг}{см^2} \right), \end{aligned}$$

що дорівнює розрахунковому опору бутової кладки марки 200 і вище на стиск (4 МПа), значно перевищує розрахунковий опір бутової кладки на розтягнення (4 МПа [3] і призведе до виникнення в ній тріщин.

Як бачимо, надлишковий негативний заряд, відповідний напруженості електричного поля в руслі річки 100 В/м реально призведе до виникнення тріщин у верхній половині опори (з урахуванням глибини фундаменту). Опори, що стоять на березі, мають позитивний надлишковий заряд в нижній частині і негативний від верха насипу. Відповідно, зона виникнення розтягувальних напружень перебуває більший час у верхній частині опори (рис.5).

**Механізми тріщиноутворення в плитах БМП під впливом надлишкових зарядів Землі.** На відміну від бутової кладки опор з дуже малим вмістом цементу і коефіцієнтом розсунення зерен піску  $\mu^b < 1$ , бетон плити БМП має високий вміст цементу (приблизно  $500 \text{ кг/м}^3$  і значний коефіцієнт  $\mu^b$  (2,7 для дрібнозернистого піску 1,9 для крупзернистого піску. В результаті деформації гелю повністю переходять у деформації бетону.

Електричне поле Землі призводить до поляризації плити БМП по вертикалі. При цьому у її верхній частині виникає надлишковий негативний електричний заряд по виразу (2), а у нижній – позитивний, абсолютні величини яких рівні.

При цьому виникає відштовхування частинок гідросилікатного гелю у зоні надлишкового негативного поля напруженістю  $\Delta E$ , тобто надлишкового негативного заряду.

Кількість гелю у  $1 \text{ м}^3$  бетону визначиться формулою:

$$V^G = \frac{C \cdot \alpha \cdot \gamma}{\rho^G} \left( \frac{кг}{м^3} = м^3 \right) \quad (5)$$

Об'єм однієї частинки гелю:

$$v^G = b_G^3 \quad (6)$$

Кількість частинок гелю в  $1 \text{ м}^3$  бетону:

$$N^G = \frac{V^G}{v^G} \quad (7)$$

Підставимо відповідні величини:

$$V^G = \frac{500 \cdot 0,55 \cdot 0,75}{2700} = 0,069 (м^3),$$

де  $2700 \text{ (кг/м}^3)$  – щільність гідросилікатного гелю [4]

$$v^G = 100^3 \cdot 10^{-30} (м^3)$$

$$N^G = \frac{0,069}{10^6 \cdot 10^{-30}} = 0,069 \cdot 10^{24} = 6,9 \cdot 10^{22} (шт)$$

Середня величина ЕПП гідросилікатного гелю дорівнює ЕПП =  $(-0,11 - 0,32)/2 \approx -0,2$  В. Щільність поверхневого заряду:

$$q^G = \frac{\varepsilon \varepsilon \cdot ЕПП}{d_1} \quad (8)$$

Площа поверхні однієї частинки:

$$S^G = \frac{4}{3} \pi R_G^2$$

Заряд однієї частинки:

$$Q_1^G = q^G \cdot S^G \quad (9)$$

Заряд усіх частинок гелю у зоні з негативним полюсом

$$Q^G = q \cdot \Gamma \cdot S^G \cdot N^G / 2 \quad (10)$$

Підставимо відповідні величини:

$$q^G = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot |-0,2|}{2,53 \cdot 10^{-10}} = 0,007 \left( \frac{Кл}{м^2} \right),$$

$$S^G = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 50^2 \cdot 10^{-20} = 1,05 \cdot 10^{-16} (м^2),$$

де  $50 \times 10^{-10} \text{ м}$  – радіус частинки гелю;

$$Q_1^G = 0,007 \cdot 1,05 \cdot 10^{-16} = 0,74 \cdot 10^{-18} (Кл),$$

$$Q^G = 0,74 \cdot 10^{-18} \cdot 6,9 \cdot 10^{22} = 5,1 \cdot 10^4 (Кл)$$

Об'єм плити з надлишковим негативним зарядом дорівнює:

$$V_{пл} = 1,53 \cdot 1,39 \cdot \frac{0,18}{2} = 0,19 (м^3)$$

де  $0,18 \text{ м}$  – за рахунок виступів, які повторюють верх профілю мостового бруса.

Заряд частинок гелю у цьому об'ємі:

$$Q^r = 5,1 \cdot 10^4 \cdot 0,19 = 0,97 \cdot 10^4 \text{ (Кл)}$$

Розтягувальна сила у плоскості плити:

$$F^r = \frac{1}{3} \cdot 100 \cdot 0,97 \cdot 10^4 = 0,32 \cdot 10^6 \text{ (Н)}$$

Ця сила розтягує верхню зону плити.

Така ж сила, тільки на стиснення, виникає у нижній зоні, плече між силами:

$$h = 0,145/2 = 0,0725 \text{ м.}$$

В результаті плита вигинається, момент вигину дорівнює:

$$M = F \cdot h = 0,32 \cdot 10^6 \cdot 0,0725 = 0,23 \cdot 10^5 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Момент опору:

$$W = \frac{B \cdot h^2}{6} = \frac{1,39 \cdot (0,145)^2}{6} = 0,0049 \text{ (м}^3\text{)}$$

Напруження при вигині:

$$\sigma_{изг} = \frac{M}{W} \quad (11)$$

$$\sigma_{изг} = \frac{0,23 \cdot 10^5}{0,0049} = 4,7 \cdot 10^6 \left( \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right) = 4,7 \text{ (МПа)},$$

що істотно вище розрахункового опору розтягуванню бетону класу С32/40.

Під час проходження поїздів з електроотягою від постійної напруги і значного позитивного потенціалу на мостовій рейковій колії можливе виникнення тріщин на нижній поверхні плити. Напрями тріщин можуть змінюватися у залежності від нерівномірності натягу шпильок.

Надлишкові заряди бетону плити біля високоміцної шпильки, що розпушують бетон, і також призводять до утворення тріщин у цій зоні.

Таким чином, надлишковий негативний заряд, відповідний на-напруженості електричного поля в руслі річки і потенціалу на рейковій колії реально призведе до виникнення тріщин на поверхні плити БМП, причому як на верхній, так і нижній поверхні, а також у зоні натяжних болтів.

Розвиток теоретичних уявлень про вплив надлишкового негативного заряду на структуру і деформації арматури

Нами розвинені нові уявлення про механізм тріщиноутворення бетону в плитах БМП і мостових опорах при незначних напруженнях і малому В/Ц бетону (розчину). Найбільш зручно розглядати цей механізм на прикладі залізобетонних циліндричних опор, широко поширених в мостах. Такі опори, зокрема, має міст через рі-

чку Ахтуба в селищі Петропавлівка поблизу м. Ахтубінский (Росія). На опорах утворилися великі вертикальні тріщини [5]. Фрагмент однієї з опор з тріщиною наведено на рис.6, 7.



Рис.6. Вимивання нижньої частини опор



Рис.7. Фрагмент опори моста через річку

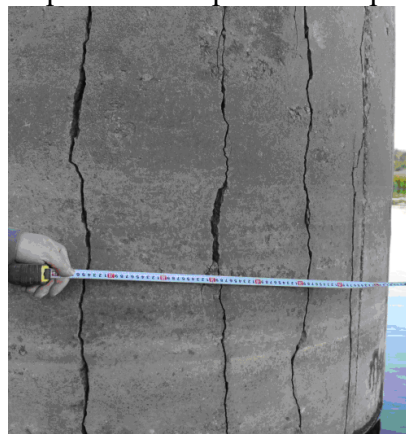


Рис.8. Фрагмент опори з тріщинами

Як бачимо, в нижній частині опори розкрилася тріщина шириною близько 4 см за даними [5]. Такі ж тріщини є і в інших опорах. Подібний фрагмент опори з [6] наведено на рис.8. Середня ширина розкриття тріщини складає, судячи з вимірювального метру, близько 1 см. Всього на

цій стороні опори їх 5, загальна ширина розкриття становить 5 см. Якщо врахувати, що ця ділянка менша за половину периметра опори, і що така ж кількість тріщин знаходиться на протилежній стороні, загальна ширина розкриття може досягати 10 см і більше. Діаметр опори дорівнює близько 2 м, периметр - 6,3 м. Відносне подовження  $\varepsilon = 10/630 = 0,016$ , що в 17 разів перевищує граничну пружну деформацію сталі класу А240, з якої складаються хомути.

Отже, текучість і великі деформації хомутів обумовлені зміною мікро- і субмікроструктури сталі під впливом надлишкового негативного заряду, який перейшов з дна русла річки. Цей заряд відштовхує частинки гідросілікатного гелю цементного каменю, розтягує бетон по периметру опори. Одночасно негативний заряд у вигляді електронів в сталі зменшує валентність деяких ПВІ заліза, переводячи їх з двовалентного  $Fe^{2+}$  в одновалентне  $Fe^+$  залізо. При цьому послаблюється зв'язок між зернами фериту (рис.9), збільшується товщина їх ПЕШ, вони прослизують один щодо одного, і відбувається деформування (витягування) зерен уздовж розтягувального напруження. Зернистий характер мікроструктури по суті не змінюється і для більш високовуглецевих сталей (рис.10).

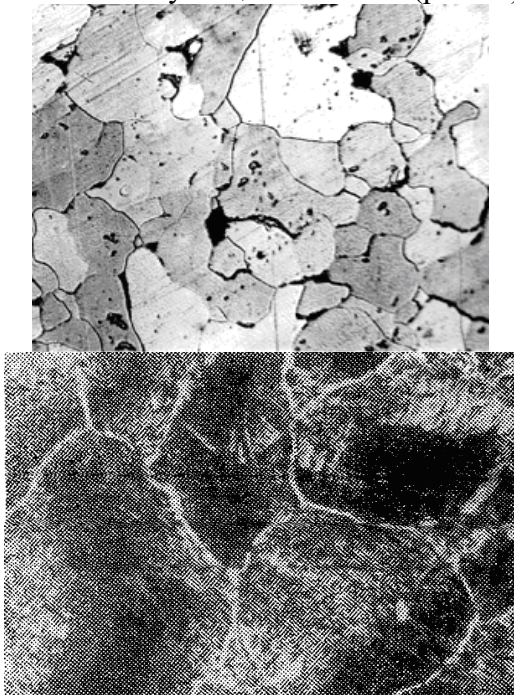


Рис. 9. Структура заевтектоїдної сталі: перліт і вторинний цементит [7]

Подовження арматури відбувається разом з подовженням бетону, однак невелика його розтяжність призводить до виникнення в ньому тріщин.

**Висновки.** Поглиблені уявлення про механізм формування надлишкових зарядів Землі у зоні мостів через річку з плитами безбаластного мостового полотна. Показано, що вільні електрони збираються під земною корою і переходять на частинки ґрунту, створюючи надлишок гідроксильних іонів  $OH^-$  у водному середовищі. Разом з водою ці іони переміщуються і збираються у верхніх шарах Землі. Таким чином створюється електричне поле і заряд Землі по її вертикалі. Розроблені схеми виникнення надлишкових зарядів в конструкціях залізобетонного мосту при знаходженні на мосту поїзда та при його відсутності. Представлений принциповий механізм виникнення надлишкового позитивного заряду на березі річки на основі відомих схем кругообігу води в природі.

Розвинені нові теоретичні уявлення про механізм впливу надлишкового негативного заряду з дна русла річки і позитивного з берега річки на тріщиноутворення бетону в плитах БМП і мостових опор при незначних напруженнях і малому В/Ц бетону (розчину), а також вимивання бетону в рівні води і глибше.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Плугин, А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: Монография в 3-х тт. Т.2. Теория твердения портландцемента [Текст] / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, О.А.Калинин, С.В.Мирошниченко, Д.А.Плугин, А.С.Кагановский, Ал.А.Плугин, О.В.Градобоев; Под ред. А.Н.Плугина. – Київ: Наукова думка, 2012. – 224 с.
2. Губкин, А.Н. Физика диэлектриков [Текст] / А.Н.Губкин. – Москва: Высшая школа, 1971. – 272 с.
3. ДБН В.2.6-162:2010 Кам'яні та армокам'яні конструкції [Текст] / Мінрегіонбуд. – Київ, 2011. – 98 с.
4. Илюхин, В.В. Кристаллические структуры природных и синтетических соединений с

- крупными и средними катионами: Авто-реф. дисс... д.ф.-м.н. [Текст]. – Москва, 1971. – 26 с.
5. Гром не грянет – мужик не перекрестится или дождется ли Ахтубинск [Электронный ресурс] // Режим доступа: [www.ah tubinsk-today.ru](http://www.ah tubinsk-today.ru).
6. Вертикальные трещины в сваях-оболочках [Электронный ресурс] // Режим доступа: [www.vseomostah.ru](http://www.vseomostah.ru)
7. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела [Текст] / Ч. Киттель. – М: Наука, 1978. – 792 с.

УДК 628.355

**Эпоян С.М.,**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

**Шаляпин С. Н., Шаляпина Т.С.,**

*Харьковская электротехническая компания, г. Харьков*

**Зубко А.Л., Штонда Ю.И.,**

*ООО «ЭКВИК», г. Харьков*

**Штонда И.Ю.**

*ГВУЗ «Ужгородский национальный университет»*

### **УСТАНОВКИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА С МАЛЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЗОНА И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Современное общество, при своем существовании, характеризуется все более ощутимыми негативными последствиями воздействия на окружающую природную среду. Это связано с тем, что увеличение плотности населения повышает уровень загрязнения окружающей среды продуктами жизнедеятельности человека. В местах плотной застройки этот уровень достигает критической отметки. Отравляется воздушное пространство, поверхностные и подземные водные объекты, земля становится непригодной для использования в народном хозяйстве. Проблема загрязнения окружающей среды состоит менее остро в городах и поселках, где соблюдаются все необходимые санитарно-технические мероприятия при эксплуатации систем водоотведения. В населенных пунктах, где несанкционированная и плановая застройка находится в непосредственной близости к канализационным насосным станциям и очистным сооружениям, проблема загрязнения воздушного пространства газообразными продуктами разложения осадков сточных вод, стоит на первом месте.

Загрязняющие газообразные вещества, попадая в природную воздушную среду, приводят к качественным изменениям воздуха, которые в основном проявляются в изменении физических свойств воздуха, что способствует появлению неприятных запахов, привкусов. Поступление загрязненных газообразных веществ чревато опасностью инфекционных заболеваний, ухудшению санитарно-эпидемиологического состояния региона, а также деградации воздушных экосистем. В следствии с этим, очистка воздуха от загрязненных газообразных веществ является очень важной экологической и социально-значимой задачей.

Существующие канализационные насосные станции и очистные сооружения для очистки сточных вод от населенных пунктов в Украине построены и введены в эксплуатацию, в основном, 60-70 годах прошлого века. На данный момент, канализационные очистные сооружения и насосные станции морально и технически устарели, их ресурс практически выработан. За последние десятилетия объемы сточных вод на существующие очистные сооружения увеличились в несколько раз, что в свою очередь, увеличило количество выбросов в окружающую среду