

УДК 691.3

*Д-р хим. наук А.Н. Плугин,
канд. техн. наук Ал.А. Плугин,
ассистенты А.А. Конев,
И.А. Козеняшев,
инж. С.В. Нестеренко*

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННЫХ ТОКОВ УТЕЧКИ НА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Постановка задачи и анализ предыдущих исследований. Исследования кафедры «Строительные материалы, конструкции и сооружения» УкрГАЗТа [1÷5] показали, что постоянные токи утечки с рельсового пути вызывают электрокоррозию бетона в железобетонных шпалах, обводненных бетонных и железобетонных конструкциях водопропускных труб, пролетных строений мостов, мостовых опор. При этом ток утечки с рельсов проходит через конструкции креплений, железобетонные шпалы, балласт, откуда поступает на указанные конструкции. Разрушающие функции тока утечки обусловлены режимом движения поездов и в связи с этим с характером самого тока – он является однонаправленным пульсирующим.

Данная статья посвящена проверке ранее выдвинутой авторами гипотезы о влиянии токов утечки на трещинообразование бетона в конструкциях в условиях, приближенных к эксплуатационным.

Анализ результатов исследований. Одним из проявлений разрушающего действия токов утечки является возникновение трещин в бетоне конструкций, причем как поперек, так и вдоль рабочей арматуры (рис. 1-3), что приводит к интенсивному выщелачиванию бетона и электрокоррозии арматуры (рис. 4, 5).

На наш взгляд, возникновение таких трещин в бетоне конструкций обусловлено

тем, что катионы Ca^{2+} перетекают электромиграционным путем по капиллярам бетона в зону, ближе расположенную к «земле». Зона, откуда катионы Ca^{2+} уходят, приобретает избыточный отрицательный заряд и потенциал. Под влиянием дождевых потоков из поверхностного слоя бетона выщелачивается гидроксид кальция $Ca(OH)_2$, и это дополнительно смещает заряд и потенциал поверхности бетона к отрицательным значениям. Это приводит к возникновению растягивающих механических напряжений за счет отталкивания диффузных частей двойных электрических слоев ДЭС на частицах и стенках капилляров цементного камня и бетона. При прохождении поездов с электрической тягой величины указанных потенциалов увеличиваются, вызывая с каждым прохождением поезда многократные растягивающие деформации в конструкциях. Это в конечном итоге приводит к возникновению трещин разрыва.

Полагаем, что важными факторами, которые могут участвовать в возникновении трещин, являются также осмотическое и капиллярное проникание воды в бетон, безнапорная фильтрация, диффузионный вынос продуктов коррозии и выщелачивания из него, электроосмотический перенос и вызванное им расклинивающее давление в бетоне.



Рис. 1. Трещины в железобетонной шпале со креплением типа КПП5



Рис. 2. Электрокоррозионные повреждения вентиляционной решетки и обделки тоннеля Сухарный Приднепровской железной дороги с образованием трещин



Рис. 3. Продольные трещины в железобетонной центрифугированной опоре освещения возле электрифицированного пути (а) и ее увеличенный фрагмент (б)

а)



Рис. 4. Трещины в бетоне железобетонного оголовка водопропускной трубы

б)



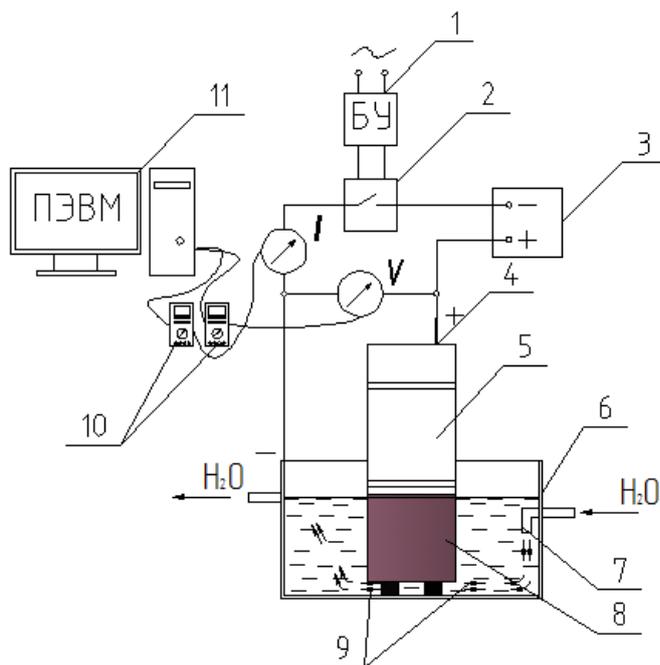
Рис. 5. Фрагменты электрокоррозионного разрушения бетона в железобетонном пролетном строении

Моделирование воздействия токов утечки и блуждающих токов на бетон, цементный камень и рельс. Для моделирования условий эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций на железной дороге (в частности железобетонные шпалы), через которые проходят блуждающие токи или токи утечки, была сконструирована специальная установка, имитирующая указанные условия.

Исследования проводились на бетонном образце $100 \times 150 \times 100$ мм марки М100, сверху которого с помощью анкеров заформован рельс Р65 (рис. 6.). Образец уплотнялся в течение 1 мин на стандартном лабораторном вибростоле. К головке рельса был приварен электрод $\varnothing 2$ мм. Образец подвергался тепловлажностной обработке по режиму 3+6+3 ч при температуре 80°C , после чего извлекался из опалубки и выдерживался сутки в нормальных условиях. После этого боковые

поверхности бетонной части образца по всей высоте покрывались в два слоя эпоксидно-каменноугольным составом ЗС-3. Далее образец насыщался водой до постоянной массы согласно ГОСТ 12730.3 [6]. После этого подавался электрический ток напряжением 30 В на образец по заданному режиму: цепь замкнута – 8 мин, цепь разомкнута – 10 мин (такой режим примерно отвечает действительным интервалам прохождения поездов на железной дороге с электротягой). С помощью мультиметра Sanwa PC-510 регистрировались изменения силы тока, остаточная разность потенциалов на электродах и автоматически эти данные записывались с помощью программы PC Link (Plus) в память ПК через каждые 2 с. Полученные данные дополнительно обрабатывались в программе MS Excel, и по ним строили графики изменения силы тока и разности потенциалов поляризации от времени.

а)



б)



в)



Рис. 6. Лабораторная установка для исследования влияния ПОЭП в водонасыщенном состоянии бетона: а – схема установки: 1 – программируемый блок управления; 2 – реле; 3 – источник питания; 4 – электрод; 5 – рельс Р65; 6 – металлическая ёмкость; 7 – трубка подачи воды; 8 – бетонный образец покрытый составом ЗС-3; 9 – поток воды; 10 – измерительные приборы; 11 – ПЭВМ; б и в – образец и часть установки для лабораторных исследований

При проведении лабораторного эксперимента после 400-450 ч пропускания электрического тока возникли трещины сначала на подошве, а потом на боковых гранях образца (рис. 7, а, б, в). При достижении 5300 ч обработки током образец разрушился (рис. 7, г, д).

Результаты экспериментальных исследований. На рис. 8 приведены графики изменения силы тока во времени и разность силы тока при каждом цикле (8 мин). Из графиков видно, что ток стремительно падал в течении 250 ч, потом

незначительно возрос, и в отметке 400-450 ч произошел резкий скачок вверх, после чего сила тока начала возрастать. Значительная разница силы тока вначале свидетельствует об интенсивном выносе катионов Ca^{2+} до появления первых трещин, далее начинают выноситься не только катионы Ca^{2+} , но вслед за ними и анионы OH^- . А также с этого времени начинается интенсивный процесс электрокоррозии металла, о чем свидетельствует постоянный рост тока.

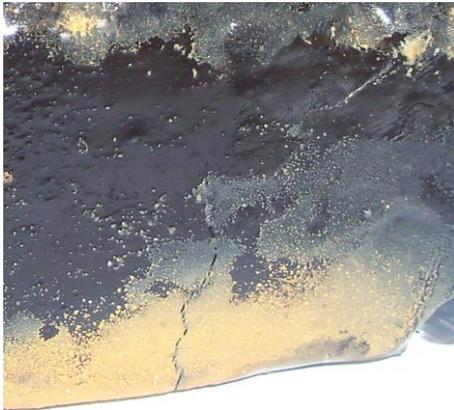
а)



б)



в)



г)



д)



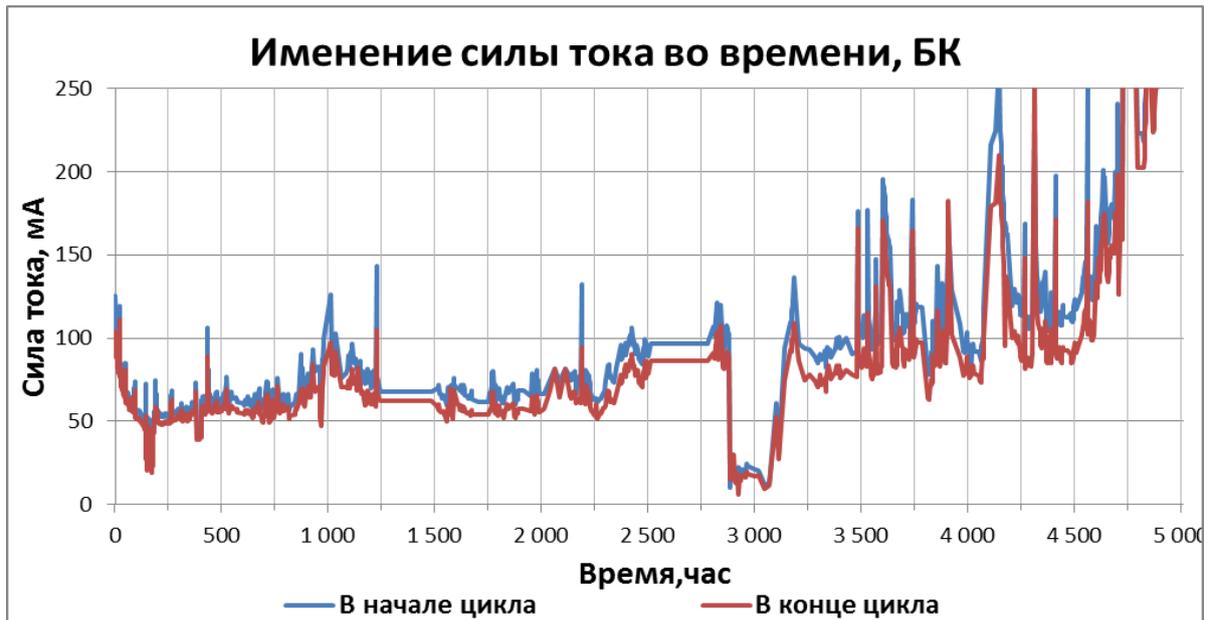
Рис. 7. Лабораторный образец: а – образование трещин на нижней грани (подошва) образца после 400 ч обработки током; б – увеличенный фрагмент а); в – образование трещины на боковой грани образца после 400 ч обработки током; г и д – состояние образца перед разрушением (5000 ч) соответственно, нижняя грань (подошва) и боковая грань

Выводы. Исследования подтвердили, что при длительном воздействии пульсирующего постоянного тока и контакте с водой происходит выщелачивание и вынос $Ca(OH)_2$ и других продуктов гидратации, накопление внутренних напряжений, а затем и образование трещин в бетоне.

Для углубленного изучения возникновения внутренних напряжений в

бетоне и их взаимосвязи с трещинообразованием начаты исследования растягивающих напряжений, накопления остаточных деформаций в образцах с помощью тензометрических датчиков сопротивления и использованием приборов ИДЦ-1, ВВП-9 для регистрации на ЭВМ возникающих напряжений.

а)



б)



Рис. 8. Графики: а – изменения силы тока во времени; б – разности силы тока в циклах

Список литературы

1. Старосельский, А.А. Электрокоррозия железобетона [Текст] / А.А. Старосельский. – К.: Будівельник, 1978. – 198 с.
2. Электрокоррозия железобетонных мостов и других искусственных сооружений [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Скорик, А.А. Плугин и др. // Залізничний транспорт України. – 2004. – № 1. – С. 11-13.
3. Электроосмотический перенос как фактор разрушения железобетонных и каменных опор железнодорожных мостов на водотоках [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин,

С.В. Мирошниченко и др. // Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія «Технічні науки». – Луганськ: ЛНАУ, 2007. – № 71(94). – С. 189-196.

4. Механизм электрокоррозии бетонных конструкций пульсирующим однонаправленным блуждающим током или током утечки [Текст] / А.Н. Плагин, А.А. Плагин, С.В. Мирошниченко и др.// Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2007. – Вип. 42. – С. 106-111.

5. Механизм электрокоррозии бетонных конструкций пульсирующим однонаправленным блуждающим током или током утечки [Текст] / А. Н. Плагин, А. А. Плагин, С. В. Мирошниченко и др // Науковий вісник будівництва. – Харків, 2007. – Вип. 42. – С. 106-111.

6. ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Метод определения водопоглощения // Бетон и железобетонные изделия. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – Ч. 3. – С. 135-137.

Ключевые слова: электрокоррозия, ток утечки, цементный камень, бетон, железобетон, трещинообразование.

Аннотації

Зазначено, що постійні струми витоку з рейкової колії викликають електрокорозію бетону і, як наслідок, тріщиноутворення в залізобетонних конструкціях. Виникнення тріщин у бетоні під дією постійних струмів витоку зумовлено виникненням розтягувальних механічних напруг за рахунок відштовхування дифузних частин подвійних електричних шарів ПЕШ на частинках і стінках капілярів цементного каменю і бетону. Також при проведенні лабораторного експерименту тріщини виникли після 400-450 год пропускання через бетонну призму 100x150x100 мм постійного струму періодичної дії напругою 30 В. За допомогою експерименту була перевірена гіпотеза впливу струмів витоку на тріщиноутворення бетону в конструкціях в умовах, наближених до експлуатаційних.

Отмечено, что постоянные токи утечки с рельсового пути вызывают электрокоррозию бетона и, как следствие, трещинообразование в железобетонных конструкциях. Возникновение трещин в бетоне под воздействием постоянных токов утечки обусловлено возникновением растягивающих механических напряжений за счет отталкивания диффузных частей двойных электрических слоев ДЭС на частицах и стенках капилляров цементного камня и бетона. Также при проведении лабораторного эксперимента трещины возникли после 400-450 ч пропускання через бетонную призму 100x150x100 мм постоянного тока периодического действия напряжением 30 В. С помощью эксперимента была проверена гипотеза влияния токов утечки на трещинообразование бетона в конструкциях в условиях, приближенных к эксплуатационным.

It is noted, that the constant leakage current from the track cause electrocorrosion concrete and as a consequence of cracking in reinforced concrete. Occurrence of cracks in concrete under the influence of constant leakage current due to the appearance of tensile stress due to the repulsive parts of the diffuse electrical double layers on the particles of DEL and the walls of capillaries of the cement stone and concrete. Also, during the laboratory experiment the crack occurred after 400-450 hours of passing through a prism of concrete 100x150x100 mm DC Batch voltage of 30 V. With the help of the experiment was to test the hypothesis on the effects of leakage currents in the cracking of concrete structures in conditions close to operational.