

калия / *А. Попова, В. Писный*. – М.: НИИТЭхим, 1988. – 83 с. **7.** *Фиошин М.Я.* Электросинтез окислителей и восстановителей / *М. Фиошин, М. Смирнова*. – (2-е изд.). – Л.: Химия, 1981. – 212 с. **8.** Directive 2006/12/EC of the European Parliament and the Council of 5 April 2006 on Waste (Text with EEA relevance) // Official Journal L 114, 27.04.2006. – P. 9 – 21. **9.** *Ягодин Б.А.* Агрохимия / [*Б.А. Ягодин, П.М. Смирнова, А.В. Петербургский и др.*]; под ред. *Б.А. Ягодина*. – [2-е изд.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 639 с. **10.** Council Directive 86/278/EEC of 12 July 1986 on the protection of the environment and particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture // Official Journal L 181, 04.07.1986. – P. 6 – 12. **11.** Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения: СанПиН 2.1.7.573-96. **12.** Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України (затв. наказом Держбуду України 19 лютого 2002 р. № 37, зареєстр. у Міністерстві юстиції України 26 квітня 2002 р. за № 403/6691). **13.** Добриво із осадів стічних вод. Технічні умови : ТУУ 20476-93. – Харків: 1994. – 18 с. – (Нормативний документ Держжитлокомунгоспу України. Технічні умови).

Поступила в редколлегию 05.09.09

УДК 691.3

А.Н. ПЛУГИН, докт. хим. наук; *Ал.А. ПЛУГИН*, аспирант,
А.А. ДУДИН, *О.С. БОРЗЯК*, магистр, *А.А. ПЛУГИН*, докт. техн. наук,
Д.А. ПЛУГИН, канд. техн. наук,
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОКОВ УТЕЧКИ И БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ ВОЗЛЕ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРЖНЫХ ПУТЕЙ

Досліджений вплив струмів витоку і блукаючих струмів від рейок на конструкції будівель і споруд залізниць, електрифікованих постійним струмом – мости, водопропускні труби, станційні будівлі, пасажирські платформи і так далі Експериментально встановлені величини потенціалів, які наводяться на них. Розроблена лабораторна установка і досліджений вплив тривалої циклічної електричної дії на бетон і цементний камінь.

There were researched the influence of leakage currents and stray currents from rails on buildings and constructions of railways, which are electrified by direct current, in particular, bridges, culverts, station buildings, passenger platforms etc. Also there were experimentally set the quantities of potentials which are pointed on these buildings. The laboratory setting was developed and influence of lasting cyclic electric affecting is explored concrete and cement stone

Известно, что токи утечки и блуждающие токи от рельсов электрифицированных постоянным током железных дорог вызывают электрокоррозию металлических конструкций и арматуры железобетонных конструкций.

Однако эксплуатация зданий и сооружений возле электрифицированных железных дорог показывает, что в конструкциях из бетона и каменной кладки повреждения также образуются намного быстрее, чем вдали от источников тока. Авторы предположили, что блуждающие токи могут ускорять повреждение бетона и раствора каменной кладки, снижать долговечность зданий и сооружений и приводить к увеличению затрат на их содержание и ремонт.

Исследование влияния токов утечки и блуждающих токов на здания и конструкции железных дорог позволит установить критерии опасности коррозии, разработать меры по защите от нее, повышению долговечности зданий и сооружений и снижению затрат на их содержание и ремонт.

Целью исследования является установление коррозионного влияния блуждающих токов на бетон и раствор каменной кладки и обоснование мер по их защите от электрокоррозии.

Задачи исследований: обзор литературных данных и разработка гипотезы о коррозионном влиянии блуждающих токов на бетон и раствор каменной кладки; разработка методов исследований; натурное обследование зданий с повреждениями возле электрифицированных железных дорог; экспериментальное исследование влияния электрического тока на бетон; установление критериев опасности коррозии; разработка мер по защите от электрокоррозии.

Обзор литературных данных. В [1] показано, что в железобетонных конструкциях, подвергающихся воздействию электрического тока, возле арматуры бетон подвергается деструкции.

Ранее авторы выполнили теоретические исследования, которые хорошо согласовались с наблюдаемыми повреждениями бетонных и каменных водопропускных труб, мостовых опор, конструкций пассажирских платформ [2 – 6].

Были сделаны выводы:

- через сооружения, расположенные возле электрифицированных железнодорожных путей, при прохождении поездов с электрической тягой протекает электрический ток;
- на участках, электрифицированных постоянным током, этот ток явля-

ется однонаправленным пульсирующим с длительностью импульса несколько минут;

- в конструкциях, эксплуатируемых в условиях обводнения или контактирующих с влажными грунтами, однонаправленный пульсирующий ток приводит к выносу гидроксида кальция из цементного камня бетона или раствора, выщелачиванию и карбонизации бетона;

- переменный электрический ток также ускоряет растворение продуктов гидратации цемента, в наибольшей степени в области критических частот;

- критическими являются частоты: для гидроксида кальция – около 80 Гц, для гидросиликатов кальция – около 550 Гц, для гидромоносульфоалюмината кальция - около 40 Гц, для этtringита – около 100 Гц [4];

- переменный ток промышленной частоты 50 Гц, протекающий через бетон, приводит к растворению гидроксида кальция и гидромоносульфоалюмината кальция;

- деструктивное воздействие электрического тока значительно увеличивается в конструкциях, которые контактируют с водой или омываются ею (на водотоках); для зданий и сооружений деструктивное воздействие электрического тока значительно увеличивается в условиях водонасыщенных грунтов оснований.

Разработана схема протекания блуждающих токов через конструкции зданий (рис. 1). Анализ этой схемы показывает, что ток протекает через конструкции цоколя и фундамента при наличии разности потенциалов между цоколем и удаленной точкой земли, при этом повреждениям могут подвергаться цоколь и фундамент здания [8]. При наличии такой разности потенциалов следует ожидать ускорение развития повреждений. Кроме того, ток протекает через бетонные, железобетонные, каменные конструкции зданий и сооружений к ближайшим точкам заземления оборудования и заземляющим (зануляющим) шинам.

Методы исследований. О протекании электрического тока через конструкции судили по наличию на их поверхности электрических потенциалов. Возникновение потенциалов на конструкциях зданий при прохождении поездов исследовали прямыми измерениями в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2. Измеряли синхронно разность потенциалов «рельс – удаленная точка земли» и «конструкция – удаленная точка земли». Измерение проводили в неповрежденных местах конструкций и в местах, имеющих повреждения. О критерии коррозионной опасности судили, сопоставляя имеющиеся

повреждения с величинами потенциалов. Возникновение потенциала на конструкциях зданий, расположенных на различном расстоянии от рельсового пути, при разной погоде исследовали как в натуральных условиях, так и на экспериментальном участке пути, искусственно подавая на него постоянный и переменный потенциал.

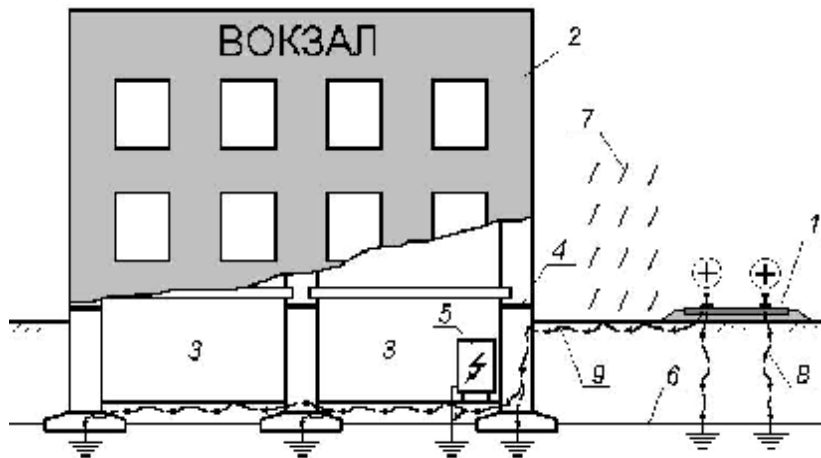


Рис. 1. Схема протекания тока через конструкции здания, расположенного возле электрифицированного постоянным током железнодорожного пути:

- 1 – электрифицированный путь; 2 – здание; 3 – сырой подвал;
- 4 – горизонтальная гидроизоляция; 5 – заземленное электрооборудование;
- 6 – уровень грунтовых вод; 7 – атмосферные осадки;
- 8 – блуждающий ток, преобладающий в сухую погоду;
- 9 – блуждающий ток, преобладающий в сырую погоду

Влияние на бетон электрического тока, эквивалентного току от электрифицированного рельсового пути (току утечки и блуждающему току) при прохождении поездов исследовали с помощью специально сконструированной лабораторной установки. Лабораторная установка (рис. 3) представляет собой ячейку 1 – полиэтиленовую емкость размером 400×400 мм, высотой 200 мм.

Исследовали образец-куб 4 с размером ребра 100 мм из бетона состава: Ц – 167, Ш – 1310, П – 667, В – 200 кг на 1 м³ (В/Ц = 1,2). Боковые грани образца на всю высоту покрывали в 2 слоя эпоксидно-каменноугольным составом ЗС-3 и слоем парафина, исключая поверхностную проводимость. Образец подвешивали к установленной сверху ячейки рамке таким образом, чтобы он на 1/9 высоты выступал из воды.

На верхнюю и нижнюю грани образца при его изготовлении накладыва-

ли электроды 3 в виде стальных пластин с 64 отверстиями диаметром 10 мм (суммарная площадь отверстий – 50 % общей площади электрода, рис. 4).

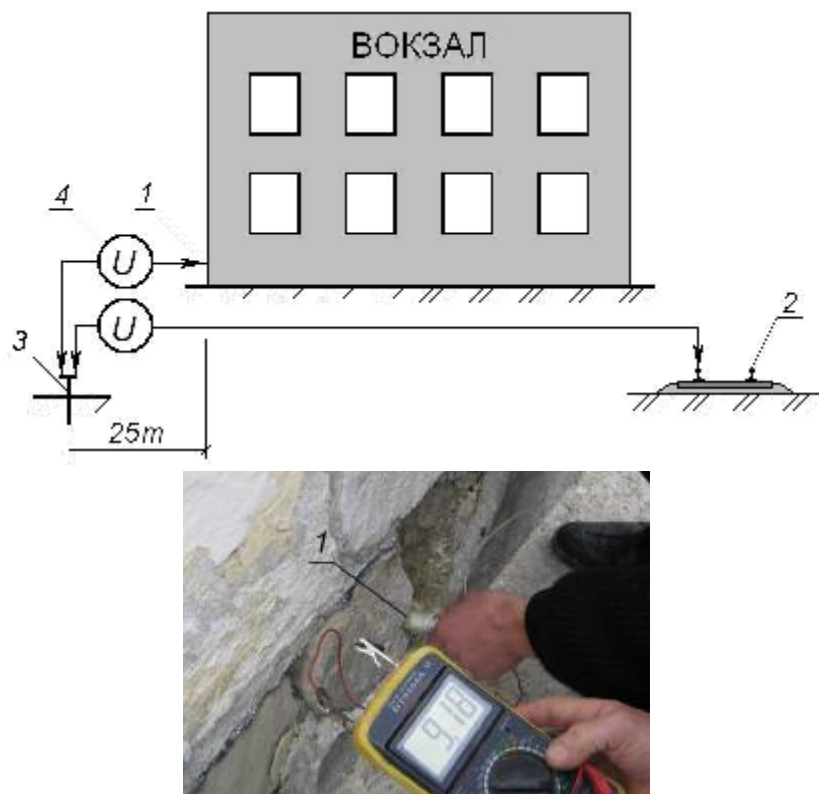


Рис. 2. Схема измерения электрических потенциалов на конструкции здания:

1 – прижатый к цоколю здания медно-сульфатный электрод;

2 – электрифицированный рельсовый путь;

3 – электрод заземления; 4 – цифровой мультиметр

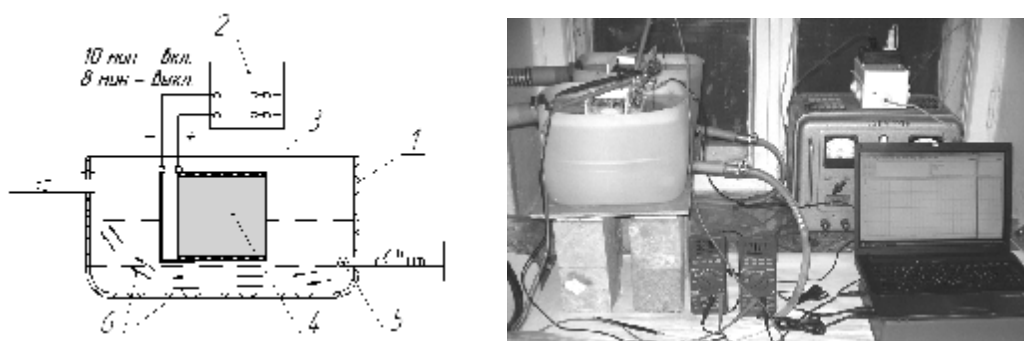


Рис. 3. Лабораторная установка для исследования воздействия электрического тока на бетон:

1 – ячейка (емкость из диэлектрического материала); 2 – блок питания;

3 – электроды-пластины с отверстиями; 4 – исследуемый образец бетона;

5 – трубка распределения потока воды; 6 – поток воды

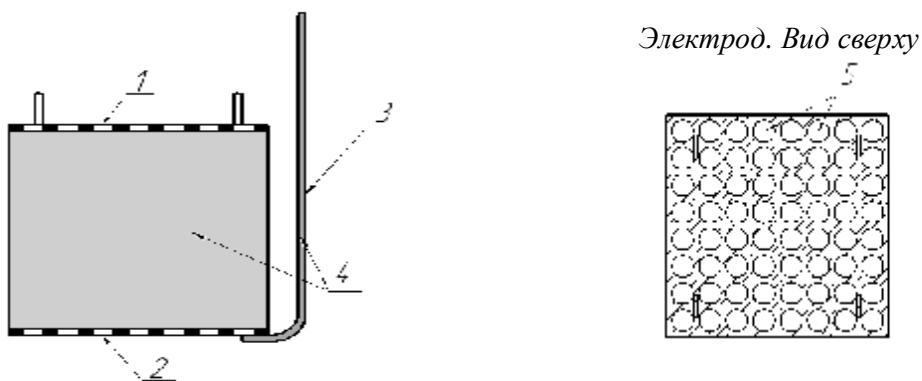


Рис. 4. Конструкция образца и закладных электродов:

1 – электрод «+»; 2 – электрод «-»; 3 – выпуск электрода «-» над поверхностью воды; 4 – образец покрыт составом ЗС-3 и воском; 5 – отверстия в электроде

Накладные электроды подключали к блоку питания 2: верхний – к положительному полюсу, нижний – к отрицательному. Блок питания в автоматическом режиме обеспечивал циклическое включение и отключение напряжения 40 В по режиму: 10 мин – включено, 8 мин – отключено. Такое циклическое электрическое воздействие приблизительно соответствует среднему потенциалу на рельсах и интервалам прохождения поездов, т.е. установленному режиму протекания тока утечки и блуждающего тока.

Под нижней гранью образца пропускали поток воды б, входящий через перфорированную трубку 5 в нижней части ячейки, выходящий через отверстие в верхней части ее противоположной стороны, обеспечивающий наиболее интенсивный отвод продуктов выщелачивания и моделирующий контакт с грунтовой водой.

Для контроля использовали такие же образцы-кубы из бетона такого же состава. На контрольный образец № 1, помещенный в лабораторную установку, воздействовали только протоком воды, не оказывая электрического воздействия, а на контрольный образец № 2 воздействовали только стоячей водой, не оказывая воздействия ее протоком и электрического воздействия.

Показания тока, сопротивления, подаваемого напряжения и остаточной разности потенциалов на электродах автоматически регистрировались с дискретностью 2 с с помощью цифровых мультиметров Sanwa PC-510, интерфейса с ПК и программного обеспечения Sanwa PC-Link (рис. 3). Сохраненные в ПК данные дополнительно обрабатывали, строя графики изменения указанных величин в течение длительного времени. Данное циклическое электрическое воздействие на образец оказывали в течение 3600 ч, что соот-

ветствует 11500 циклам. Для железнодорожного пути с интенсивным движением количество проходящих поездов – около 50 в сутки. Поскольку каждый цикл соответствует прохождению одного поезда, указанное воздействие на образец соответствует 8 месяцам эксплуатации бетонной или железобетонной конструкции, через которую проходит ток утечки или блуждающий ток с электрифицированного железнодорожного пути. После завершения длительного циклического электрического воздействия на исследуемый образец и соответствующих воздействий на контрольные образцы в течение также 3600 ч с образцов удаляли накладные электроды и с помощью специальной установки по методике [11] исследовали безнапорную водопроницаемость бетона. После окончания исследования безнапорной водопроницаемости из каждого образца вырезали по 8 образцов-кубиков с размером ребра 40 мм: 4 – из верхней и 4 – из нижней зон образца и определяли их прочность на сжатие согласно ГОСТ 10180. При этом масштабный коэффициент получили экстраполяцией и приняли равным $a = 0,781$.

С нижней грани образца, подвергнутого длительному электрическому воздействию, отбирали корродированный цементный камень и подвергали его физико-химическим исследованиям: рентгенографическому анализу с помощью модернизированного рентгеновского дифрактометра ДРОН-3 и анализу инфракрасных спектров поглощения с помощью ИК-Фурье-спектрометра Bruker Alpha. Спектры идентифицировали по [7].

Результаты экспериментальных исследований.

Полученные при натурных исследованиях результаты измерений потенциалов на рельсе и на поврежденном месте цоколя здания вокзала на участке постоянного тока представлены на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что при прохождении поездов с электрической тягой на рельсе возникает потенциал до +22 В, при этом потенциал на поврежденном месте цоколя здания достигает +1,8 В, а его характерные изменения во времени совпадают с изменениями потенциала на рельсе. Значения потенциалов на неповрежденных местах цоколя имели существенно меньшие значения, чем в поврежденных. В других случаях отмечались потенциалы на рельсе: постоянного тока – до +90 В, переменного – до 65 В, при этом в сырую погоду на конструкциях зданий и сооружений, близкорасположенных к рельсовым участкам постоянного тока – до +9 В, переменного тока – до 8 В (рис. 6).

Такие величины потенциалов на конструкциях значительно превышали величины, измеряемые в сухую погоду.

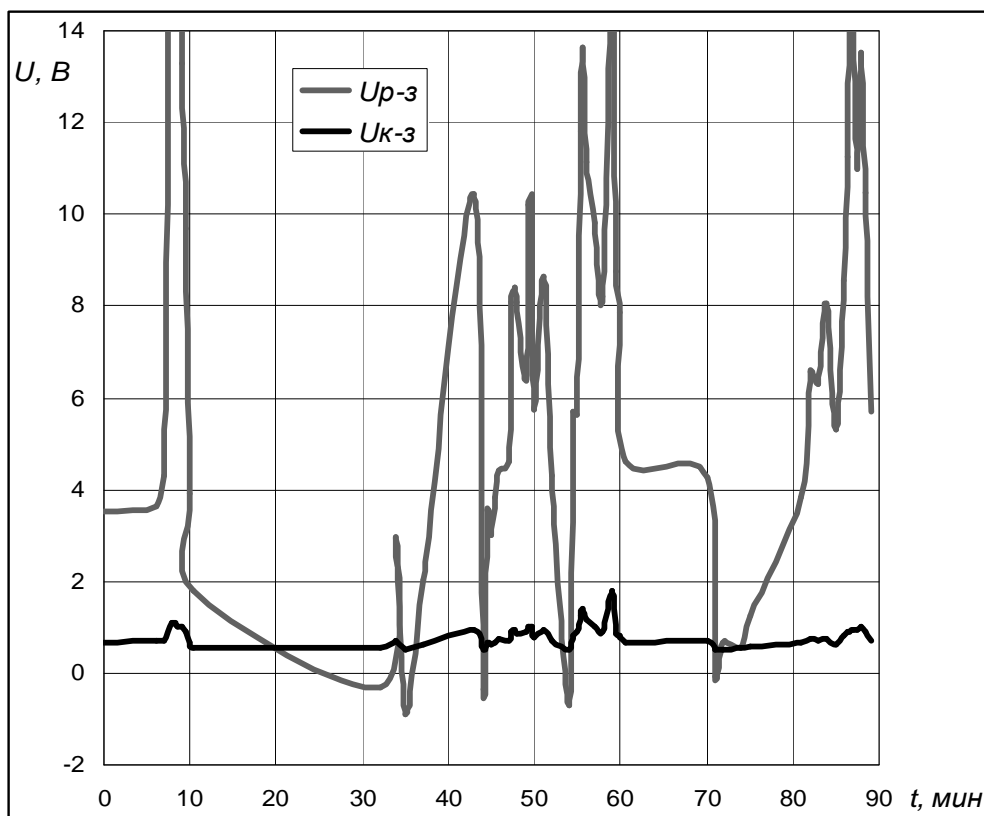


Рис. 5. Изменение потенциала на рельсе (U_{p-3}) и поверхности цоколя здания вокзала ($U_{к-3}$) во времени при прохождении поездов

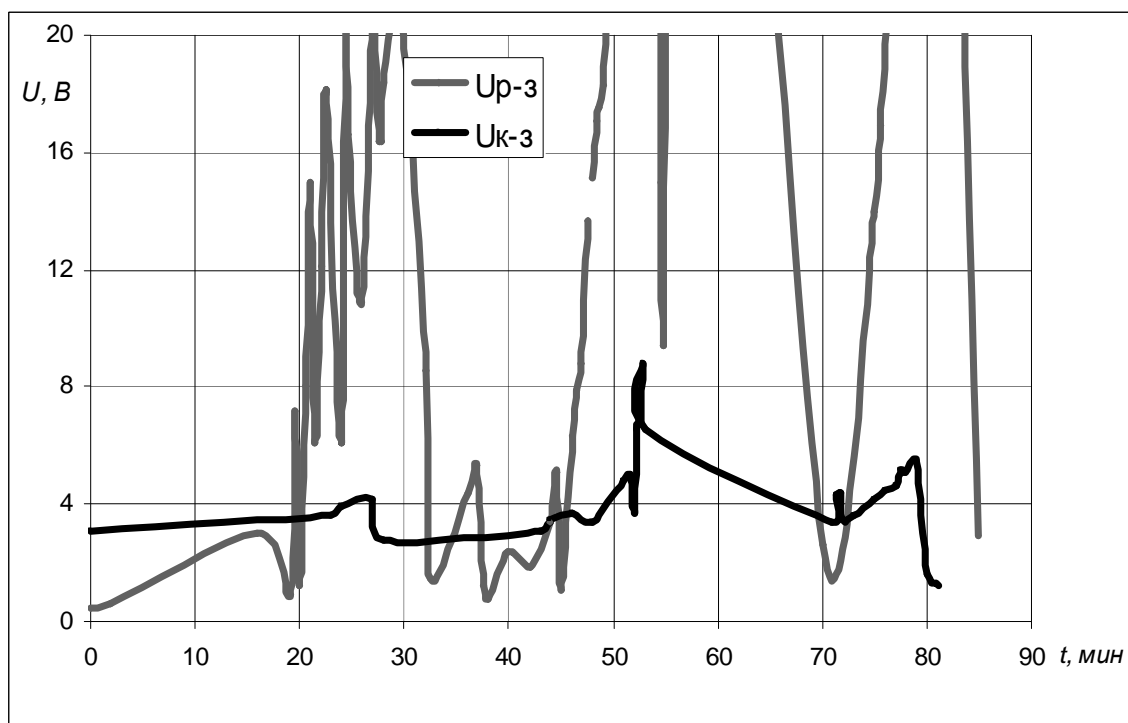


Рис. 6. Изменение потенциала на рельсе (U_{p-3}) и стальной обойме водопропускной трубы ($U_{к-3}$) во времени при прохождении поездов

Результаты лабораторных исследований представлены на рис. 7 ÷ 13.

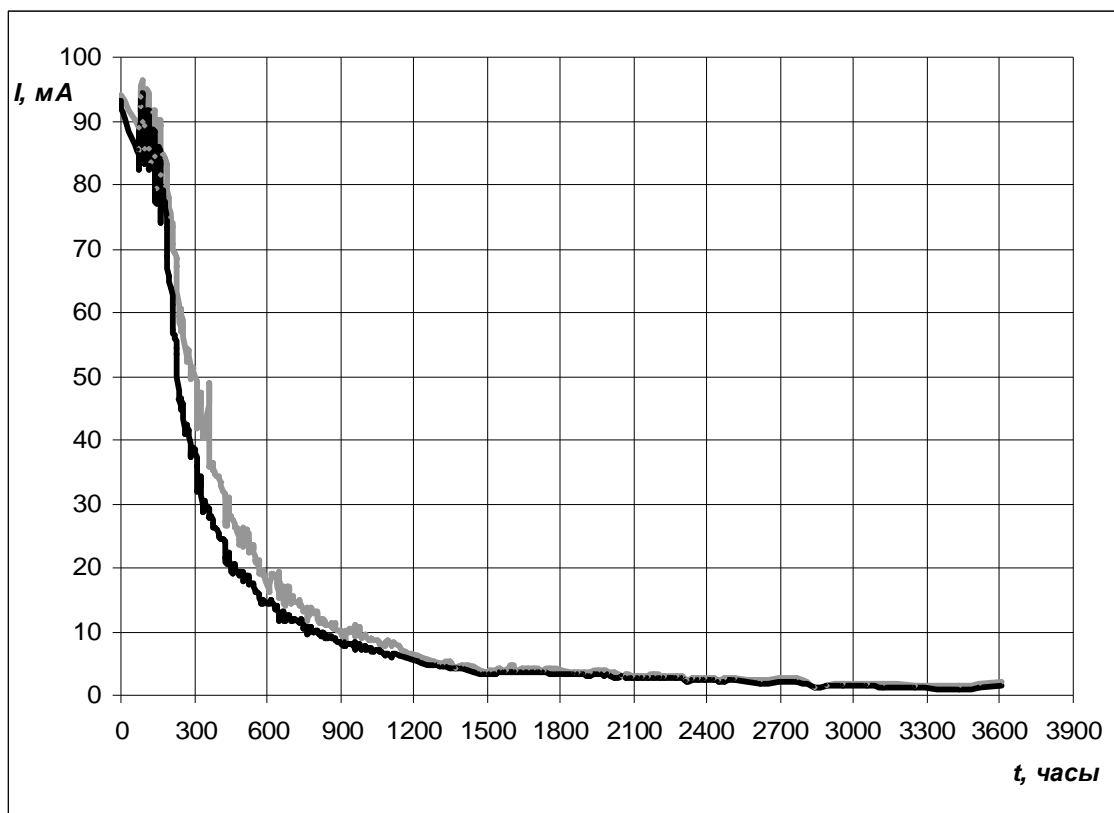


Рис. 7. Кинетика изменения тока I в в образце бетона в начале (верхняя серая кривая) и в конце (нижняя черная кривая) каждого цикла при длительном циклическом электрическом воздействии

Разность тока, проходящего через образец в начале и конце каждого цикла (рис. 8), общее уменьшение тока (рис. 8) и увеличение электросопротивления образца (рис. 9) в результате длительного воздействия на него свидетельствуют о том, что за каждый цикл и в течение всего времени воздействия из образца выносятся катионы Ca^{2+} , являющиеся результатом растворения продуктов гидратации под действием электрического тока и потока воды. Также было отмечено, что после отключения питания разность потенциалов на электродах образца не исчезает мгновенно, а уменьшается постепенно в течение нескольких минут с величины 2,0 ÷ 2,4 В до 0,4 ÷ 0,6 В.

На рис. 10 представлены графики изменения сопротивления экспериментального образца (подвергаемого электрическому воздействию с протоком воды), контрольного № 1 (с протоком воды без электровоздействия) и контрольного № 2 (без протока воды и электровоздействия).

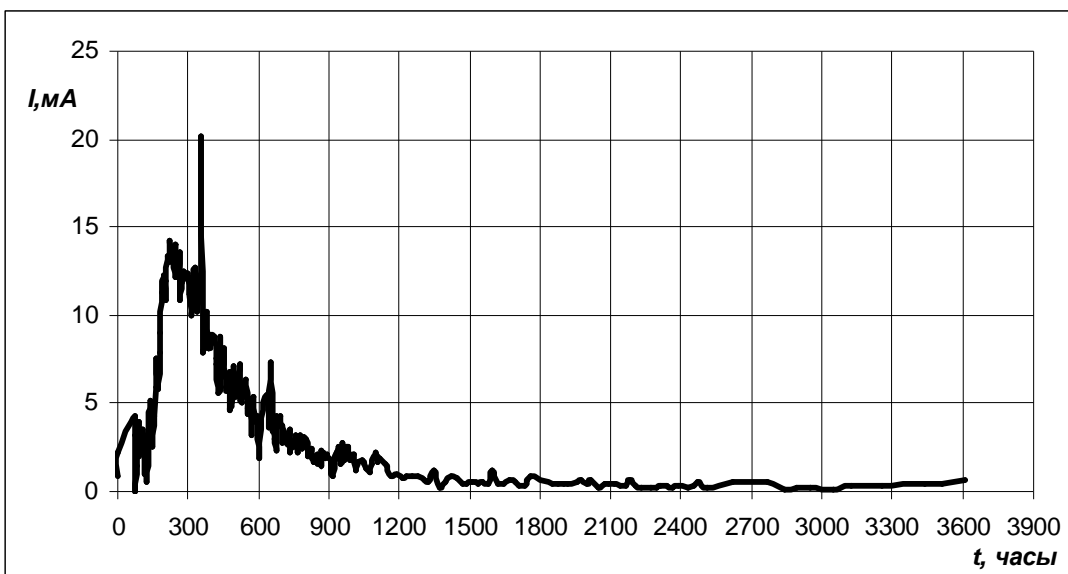


Рис. 8. Кинетика изменения разницы между током в образце в начале и в конце каждого цикла при длительном циклическом электрическом воздействии

Сопротивление основного образца после окончания исследования составило 30000 Ом, контрольного № 1 – 1000 Ом, контрольного № 2 существенно не изменилось и осталось в пределах 400 Ом. Это говорит о том, что электрическое воздействие и проток воды в несколько раз интенсифицируют выщелачивание $Ca(OH)_2$ из образца, а столь значительное изменение сопротивления основного образца, вероятно, свидетельствует о существенном снижении концентрации катионов Ca^{2+} и анионов OH^- в капиллярно-пористой системе образца.

На основании этих данных возможно рассчитать общее количество вынесенного из образца заряда и $Ca(OH)_2$ (катиона Ca^{2+}):

$$m = Q \cdot M / F,$$

где Q – вынесенный из образца заряд катионов Ca^{2+} , Кл; M – молекулярная масса $Ca(OH)_2$, 74 г/моль; F – число Фарадея, $9,65 \cdot 10^4$ Кл/моль.

Результаты расчёта и графики изменения вынесенного заряда из образца бетона при длительном циклическом электрическом воздействии будут представлены в последующих публикациях.

Результаты исследования безнапорной водопроницаемости образцов представлены на рис. 11.

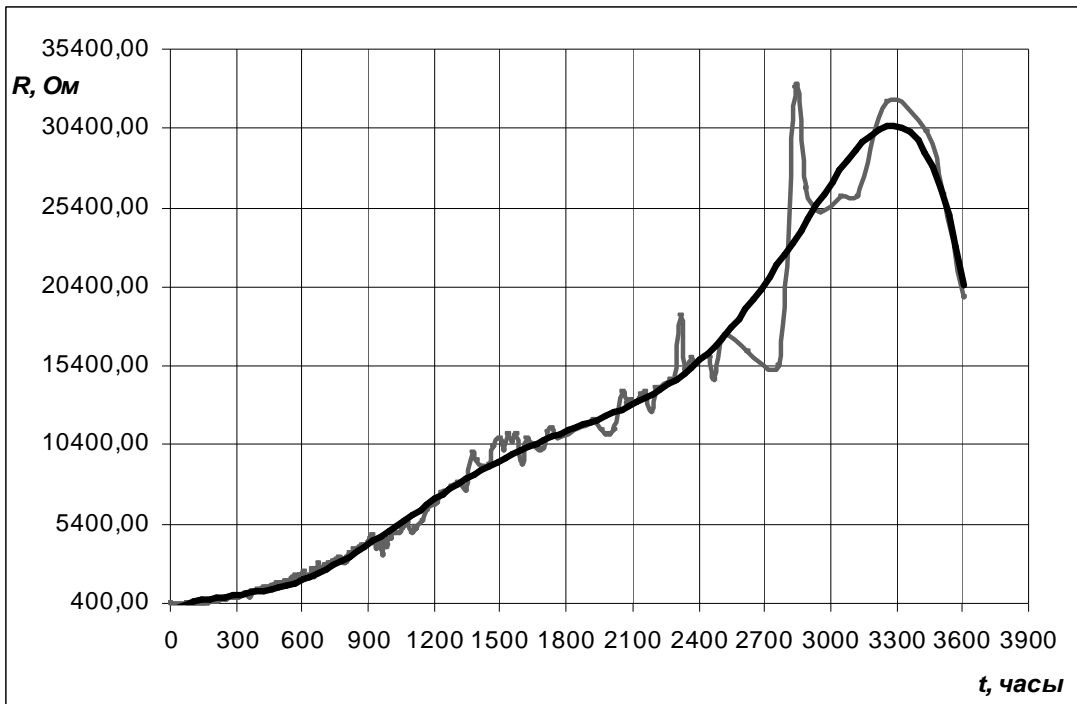


Рис. 9. Кинетика изменения электрического сопротивления образца бетона R при длительном циклическом электрическом воздействии

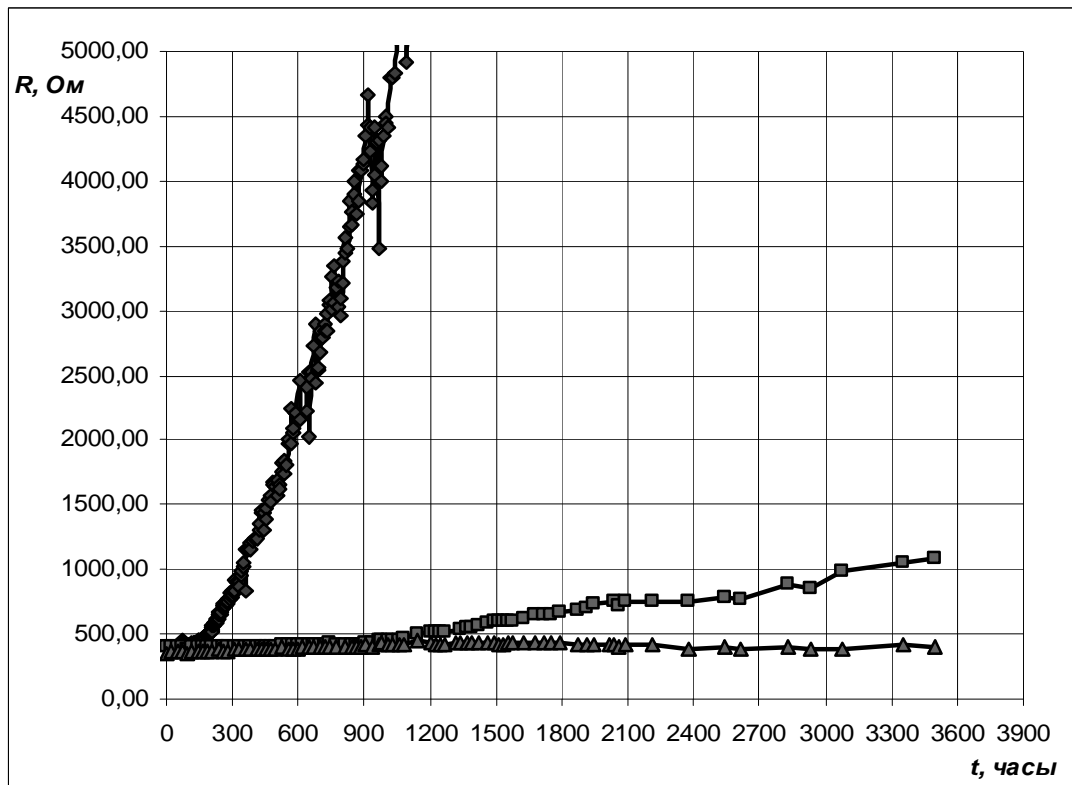


Рис. 10. Кинетика изменения электрического сопротивления образцов бетона R : верхняя кривая – при воздействии тока в протоке воды; средняя кривая – без воздействия тока в протоке воды; нижняя кривая – без воздействия тока, без протока воды

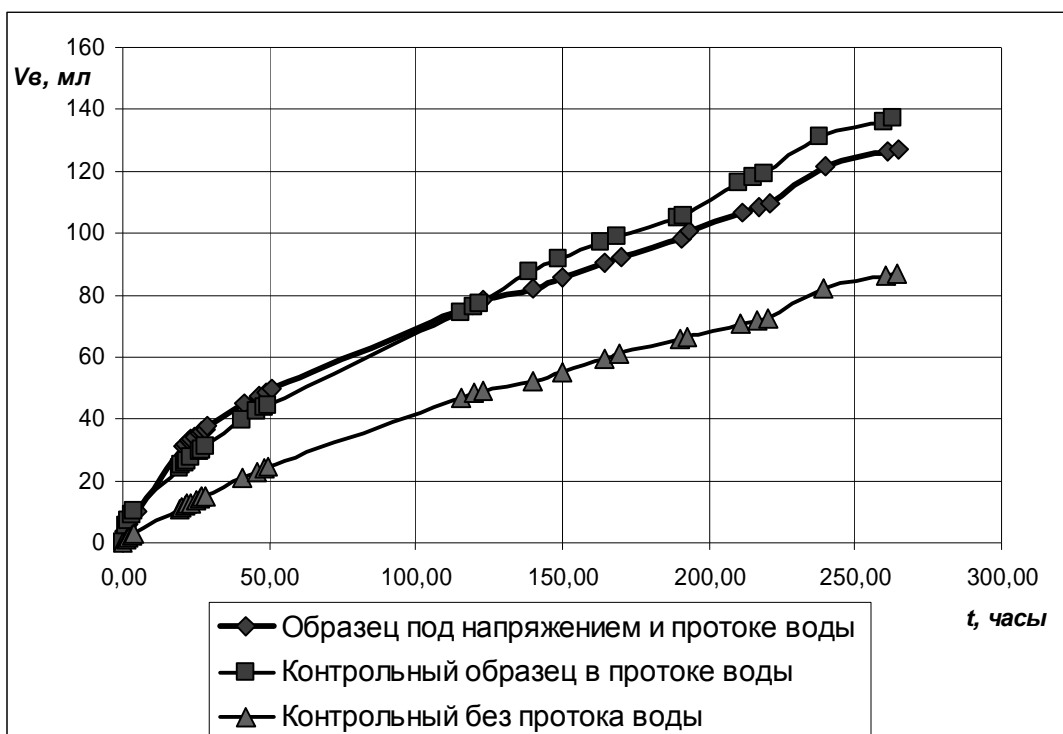


Рис. 11. График безнапорной водопроницаемости бетонных образцов

Как видно из рис. 11, контрольный образец № 1 через 270 ч испытания имел наибольшую водопроницаемость, несколько меньшую – основной исследуемый образец, а контрольный № 2 – намного меньшую, что свидетельствует о растворении цементного камня в бетоне как от действия водного потока, так и от совместного действия приложенного напряжения и протока воды. Вместе с тем, вначале графика (до 120 часов) водопроницаемость основного образца была несколько выше, чем контрольного образца № 1.

Однако, после 120 ч (11 сут) испытания водопроницаемость основного образца стала меньше, чем контрольного образца № 1, что может быть обусловлено частичной кольматацией его пор гидроксидом железа $Fe(OH)_3$ или образованием железосодержащих продуктов гидратации (рис. 12). Следовательно, действительная водопроницаемость основного образца может быть существенно выше, чем на графике. Это свидетельствует о его значительно более высокой пористости за счет растворения части цементного камня в результате длительного циклического электрического воздействия.

Данные рис. 13 свидетельствуют о существенно меньшей прочности бетона основного исследуемого образца, подвергнутого длительному циклическому электрическому воздействию в зоне контакта с водой, по сравнению с

контрольным образцом № 1, находившимся в потоке воды без подачи напряжения, – на 21 % и по сравнению с контрольным образцом № 2, находившимся в стоячей воде, – на 18 %.



Рис. 12. Поверхность верхней грани основного образца (слева) и контрольного №1 после удаления электродов

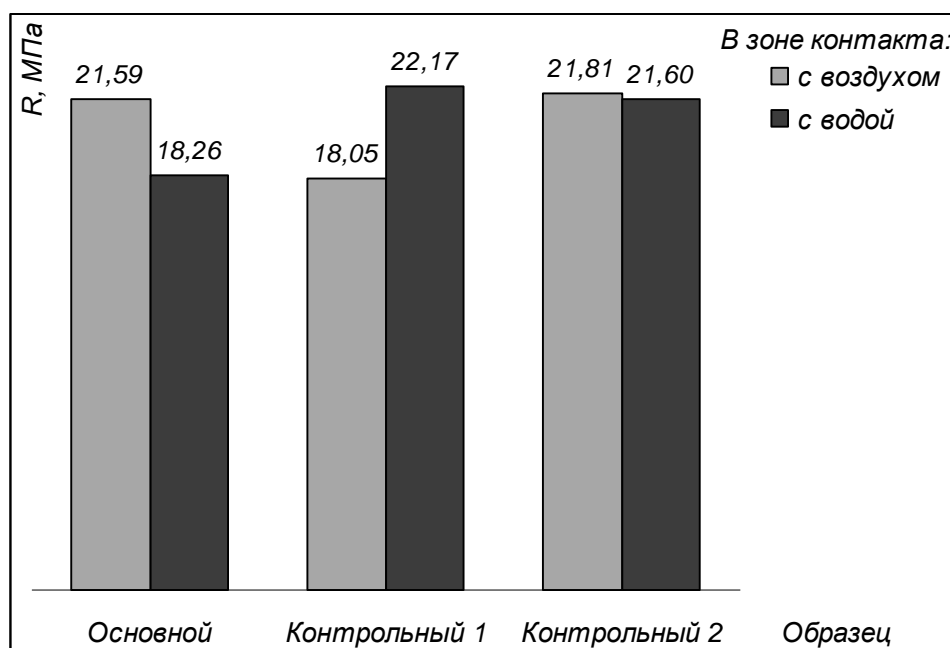


Рис. 13. Прочность бетона на сжатие R после 3600 ч циклического электрического воздействия в зоне контакта с воздухом и водой

Более высокие значения прочности основного образца в верхней зоне также обусловлены, вероятно, кольматацией пор гидроксидами железа от коррозии верхнего электрода, подключенного к положительному полюсу и являющегося анодом (рис. 12), что не наблюдается в контрольном образце № 1, находившемся в потоке воды (рис. 12).

Эти данные следует исключить из-за влияния искусственно внесенного в эксперимент фактора.

Результаты испытаний образцов на прочность и водопроницаемость, показывающие образование гидроксида железа в основном образце, свидетельствуют также о том, что наведение на арматуру железобетонных конструкций постоянного потенциала значительной величины, возможное для близкорасположенных от электрифицированного пути конструкций, депассивирует сталь под защитным слоем бетона.

Результаты физико-химических исследований продуктов коррозии, отобранных с нижней грани бетонного образца после 3600 ч циклического электродействия при напряжении 40 В представлены на рис. 14 ÷ 15.

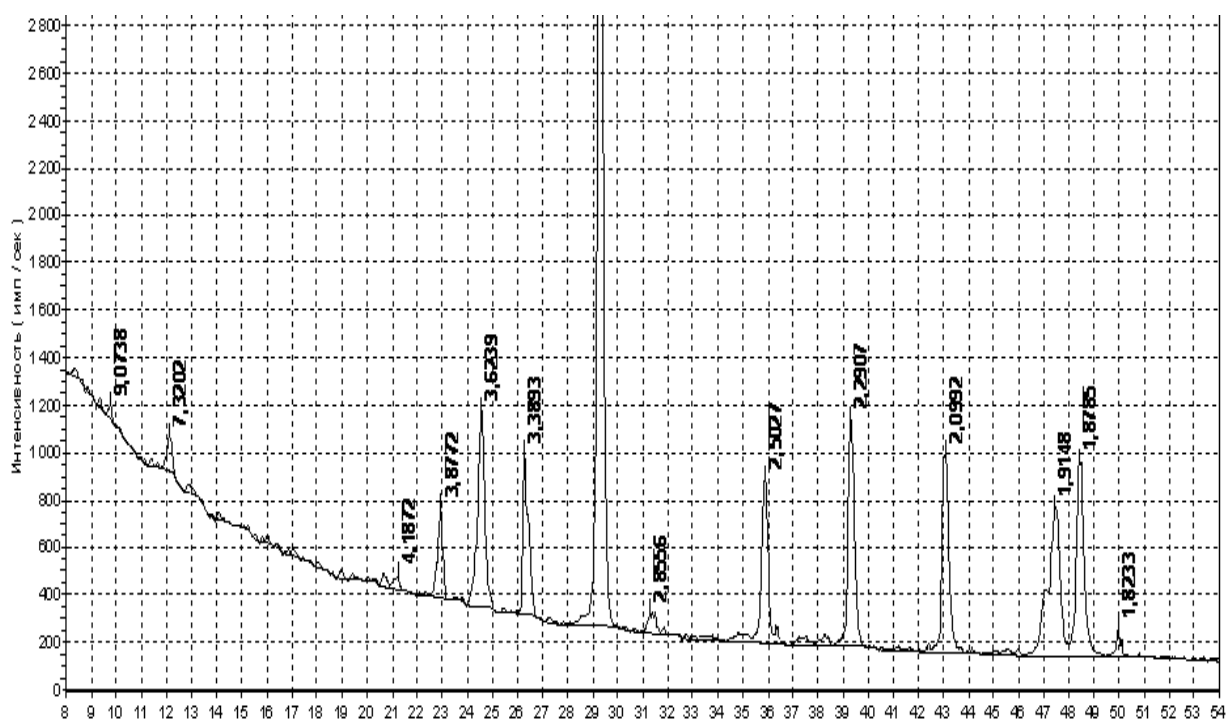


Рис. 14. Рентгенограммы цементного камня после 3600 ч циклического электрического воздействия

На рентгенограмме продуктов коррозии линии с углами 2θ и межплоскостными расстояниями для C_3S – $32^{\circ}05'$ и 0,275 нм (2,78 Å); $34^{\circ}08'$ и 0,261 нм (2,61 Å) и для C_2S – $33^{\circ}04'$ и 0,219 нм (2,19 Å, интенсивность 100 %) практически отсутствуют.

Это свидетельствует о полном удалении выщелачиванием из цементного камня бетона негидратированных частиц цемента.

Наряду с этим на рентгенограммах отсутствуют также линии, характер-

ные для кристаллогидратов: гидроксида кальция $Ca(OH)_2$ – 18° , 0,492 нм (4,92 Å); $34^\circ30'$, 0,263 нм (2,63 Å); $47^\circ10'$, 0,192 нм (1,92 Å); гидромоносульфатоалюмината кальция $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 19H_2O$ – 10° , 0,89 нм (8,9 Å); 12° , 0,79 нм (7,9 Å); $19^\circ52'$, 0,446 нм (4,46 Å); гидроалюмината кальция $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O$ – 11° , 0,79 нм (7,9 Å).

Вместе с тем, рентгенограмма содержит интенсивные линии кальцита $CaCO_3$ – 0,304; 0,291; 0,201; 0,188 нм (3,04; 2,291; 2,099; 1,915; 1,879 Å). Это свидетельствует также о выщелачивании из бетона кристаллогидратных продуктов гидратации. При выносе из бетона гидроксида кальция в поверхностных слоях разрушающегося бетона образовывался кальцит.

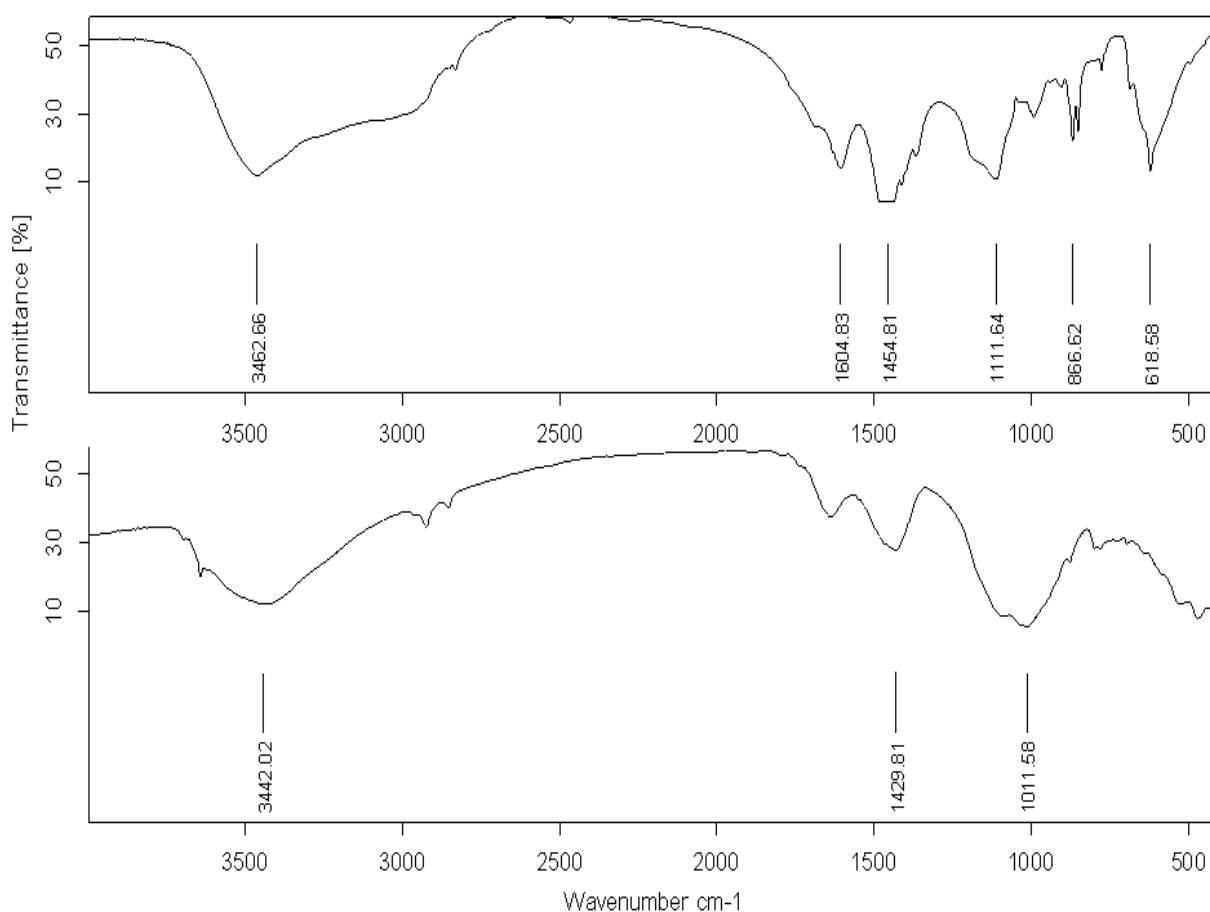


Рис. 15. Инфракрасные спектры поглощения цементного камня после 3600 ч циклического электродействия при напряжении 40 В (верхний спектр) и некорродированного цементного камня (нижний спектр)

Однако на рентгенограммах проявляются линии, характерные для очень низкоосновных гидросиликатов кальция типа ксонотлита $6CaO \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$ –

0,705 нм (7,05 Å); 0,365 нм (3,65 Å). Остальные возможные гидросиликаты кальция на рентгенограммах не проявились из-за их рентгеноаморфности.

На ИК-спектрах полосы поглощения, характерные для гидроксида кальция (около 3620 см^{-1}) или для других кристаллогидратов также не проявились.

Сильно уменьшилась широкая полоса в области высокоосновных и среднеосновных гидросиликтов кальция ($800 \div 1100\text{ см}^{-1}$) и проявились полосы, характерные для самых низкоосновных гидросиликатов кальция: тоберморитоподобного $5\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 1635, 1206, 1173 \div 1027, 675 \div 610 см^{-1} ; ксонотлита $5\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ – 670 \div 610 см^{-1} , остальные совпадали с тоберморитоподобными гидросиликатами кальция.

На рентгенограмме основного набора линий, характерных для кварца SiO_2 – $20^\circ 48'$ и 0,426 нм (4,26 Å); $26^\circ 38'$, 0,334 нм, 3,34 Å; $36^\circ 30'$, 0,246 нм (2,46 Å); $39^\circ 26'$, 0,228 нм (2,28 Å); $50^\circ 18'$, 0,182 нм (1,82 Å) не обнаруживается, что дополнительно подтверждает правильность идентификации продуктов растворения цементного камня и выводов о совместном действии электрического тока и обводнения на конструкции из бетона.

Таким образом, результаты физико-химических исследований показали, что при длительном воздействии пульсирующего постоянного тока и контакте с водой кристаллогидраты цементного камня полностью выщелачиваются, сохраняются лишь гидросиликаты кальция очень низкой основности типа тоберморита и ксонотлита.

Выводы и рекомендации.

Возникновение на конструкциях зданий и сооружений при прохождении поездов постоянных электрических потенциалов, превышающих 1 В, обуславливает коррозионное повреждение цементного камня, бетона, раствора конструкций фундаментов, нижней части стен, ускоряющее их разрушение от попеременного замораживания и оттаивания и других факторов.

Наличие на конструкциях зданий и сооружений постоянных электрических потенциалов, превышающих 1 В, свидетельствует о неудовлетворительном состоянии электрической изоляции рельсового пути – неисправности и засоренности деталей изоляции рельсовых скреплений, неудовлетворительном состоянии железобетонных (засоренность отверстий для закладных болтов, трещины) и деревянных (трещины, гниль) шпал, засоренности балласта, а также о повышенной влажности грунтов [9].

В этом случае следует предпринять общие меры по повышению электрической изоляции рельсов, по обеспечению поверхностного водоотвода дождевых и талых вод, а также специальных мер по защите конструкций зданий и сооружений, в том числе специальных, разрабатываемых авторами статьи в зависимости от условий эксплуатации зданий и сооружений.

Список литературы: 1. Старосельский А.А. Электрокоррозия железобетона / А.А. Старосельский. – К.: Будівельник, 1978. – 198 с. 2. Плугин А.Н. Электрокоррозия железобетонных мостов и других искусственных сооружений / [А.Н. Плугин, А.А. Скорик, А.А. Плугин и др.] // Залізничний транспорт України. – 2004. – № 1. – С. 11 – 13. 3. Плугин А.Н. Электроосмотический перенос как фактор разрушения железобетонных и каменных опор железнодорожных мостов на водотоках / [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. Плугин А.Н. Механизм электрокоррозии бетонных конструкций пульсирующим однонаправленным блуждающим током или током утечки / [А.Н. Плугин, А.А. Плугин, С.В. Мирошниченко и др.] // Науковий вісник будівництва. – 2007. – Вип. 42. – С. 106 – 111. 5. Плугин А.Н. Механизм разрушения кирпичной кладки водопропускной трубы переменным блуждающим током или током утечки / [А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.С. Герасименко и др.] // Науковий вісник будівництва. – 2007. – Вип.42. – С. 112 – 119. 6. Плугин А.А. Теоретические предпосылки защиты бетонных, железобетонных и каменных конструкций от переменных токов утечки / [А.А. Плугин, А.А. Дудин, Ал.А. Плугин и др.] // Науковий вісник будівництва. – 2008. – Вип. 47. – С. 179 – 184. 7. Горшков В.С. Методы физико-химического анализа цементных материалов / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М.: Высш. шк., 1981. – 335 с. 8. Плугин А.Н. Блуждающие токи на конструкциях, зданиях и сооружениях, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участков железных дорог / [А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.А. Калинин и др.] // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: зб. наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 131 – 143. 9. Плугин А.Н. Электрическое сопротивление железобетонных шпал с различными типами рельсовых креплений / [А.Н. Плугин, Ал.А. Плугин, А.А. Дудин, А.А. Плугин] // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: зб. наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. 10. Plugin A.N. Research of influence of leakage currents and stray currents on railways on buildings and constructions / [A.N. Plugin, A.A. Plugin, O. Plugin et al.] // 17th Internationale Baustofftagung. – Weimar: Ibausil, 2009. – Band 2. – P. 1-1145 – 1-1150. 11. Пат. 10183 UA, МПК 6 G01N15/08. Спосіб визначення водонепроникності бетону та виробів / А.М. Плугін, І.Г. Прокопова, Д.М. Косінов; заявитель и патентообладатель ХарДАЗТ. – № 94042090. – Заявл. 15.04.94. – Опубл. 25.12.98. – Бюл. № 6.

Поступила в редколлегию 26.11.09