

УДК 691.32

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.155.2015.91744>

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ И ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ КАРБАМИДНОЙ СМОЛЫ**

Канд. техн. наук Ал.А. Плагин, асп. С.Г. Нестеренко, канд. техн. наук А.А. Конев,
канд. техн. наук А.В. Никитинский, студ. М.А. Колесников

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНИХ
І ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРЦЕМЕНТНИХ РОЗЧИНІВ НА
ОСНОВІ КАРБОМІДНОЇ СМОЛИ**

Канд. техн. наук О.А. Плагін, асп. С.Г. Нестеренко, канд. техн. наук А.А. Конєв,
канд. техн. наук А.В. Нікітінський, студ. М.О. Колесніков

**EXPERIMENTAL RESEARCHES OF ELECTRICAL INSULATING
AND WATERPROOFING PROPERTIES OF POLYMER MORTARS BASED ON UREA
FORMALDEHYDE RESIN**

PhD O.A. Plugin, Postgraduate S.G. Nesterenko, PhD A.A. Konev, PhD A.V. Nikitinskiy,
student M.A. Kolesnikov

В статье представлены результаты экспериментальных исследований электроизоляционных и гидроизоляционных свойств полимерцементных растворов на основе карбамидной смолы. Разработана методика и предложена модель исследования полимерцементных составов и конструкций с их применением. Полученные экспериментальные данные подтверждают преимущества полимерцементных растворов при строительстве и восстановлении зданий и сооружений эксплуатируемых в условиях обводнения и периодического воздействия электрического тока.

Ключевые слова: блуждающий ток, ток утечки, полимерцементный раствор, цементно-песчаный раствор, электрическое сопротивление, строительство, ремонт, влажность, обводнение.

У статті представлені результати експериментальних досліджень електроізоляційних і гідроізоляційних властивостей полімерцементних розчинів на основі карбамідної смоли. Розроблено методику та запропоновано модель дослідження полімерцементних складів і конструкцій з їх застосуванням. Отримані експериментальні дані підтверджують переваги полімерцементних розчинів при будівництві та відновленні будівель і споруд, які експлуатуються в умовах обводнення і періодичної дії електричного току.

Ключові слова: блукаючий струм, струм витoku, полімерцементний розчин, цементно-піщаний розчин, електричний опір, будівництво, ремонт, вологість, обводнення.

The article presents the results of experimental researches of electrically insulating and waterproofing properties of polymer and cement mortars based on urea resin. A method of research of polymer and cement compositions and constructions made from them were developed. As a investigated construction adopted a fragment of a brick wall based on a polymer and cement mortar with one plastered surface. Additionally were investigated constructions of the brickwork based on a polymer and cement masonry mortar, cement-sand masonry mortar, and cement-sand

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

masonry and plaster. The imitation of maintenance of these constructions in atmospheric conditions with giving to ground and constructions of varying humidity were produced. Also it was produced a periodic action of a direct electric potential onto constructions by means of special electrodes placed in the soil and on the constructs themselves.

The experimental data show that the current intensity in the brick constructions based on cement-sand mortar greatly exceeds the current intensity in the constructions based on polymer and cement mortar. This fact clearly indicates onto advantages of polymer and cement mortars in construction and restoration of buildings and structures operating in conditions of periodic flooding and the impact of electric current.

Keywords: stray current, leakage current, polymer and cement mortar, cement-sand mortar, electrical resistance, building, restoration, humidity, flooding.

Вступление.

Исследования влияния постоянного электрического тока на бетон в обводненных условиях, результаты которых представлены в [1-3], подтвердили, что происходит существенная интенсификация процесса разрушения цементного камня и бетона в целом. Для защиты бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений железнодорожного транспорта, которые эксплуатируются в указанных условиях нами было предложено использование полимерцементных растворов на основе карбамидной смолы [4].

Известно, что полимерцементные растворы на основе цемента и карбамидной смолы обладают достаточно высокой прочностью при сжатии и растяжении. Кроме того, в процессе собственных исследований было установлено, что такие растворы обладают также высоким электросопротивлением и водостойкостью [5].

Таким образом, нами была разработана методика экспериментальных исследований усовершенствованных полимерцементных растворов.

Цель исследований – проверка защитных свойств разработанных полимерцементных составов на основе карбамидной смолы в качестве первичной (кладочные растворы) и вторичной (штукатурные растворы) защиты объектов, которые могут подвергаться или подвергаются разрушительным

воздействиям постоянного электрического тока и воды.

Методы исследований. Разработанная методика исследований заключается в моделировании условий эксплуатации зданий и сооружений из каменной (кирпичной) кладки с повышенной влажностью грунта и периодическим возникновением постоянного однонаправленного электрического потенциала (ПОЭП) в лабораторных условиях. Как доказано в [6] ПОЭП возникает на зданиях и сооружениях, которые находятся вблизи электрифицированного транспорта, в том числе и железнодорожного.

Для проведения исследований были изготовлены четыре одинаковых конструкции из кирпичной кладки, две из которых были изготовлены с применением полимерцементного кладочного раствора, остальные две являлись контрольными – с использованием в качестве кладочного традиционного цементно-песчаного строительного раствора. Схема и фотоснимок конструкции представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

На каждую конструкцию подавалась разность потенциалов на электроды из нержавеющей стали при напряжении 40 В. Электрод «+» эмитирует рельсовый путь, и представляет собой шину размерами 450×20×2 мм, уложенную на грунт. Толщина слоя грунта в каждой модели составляет 150 мм. Электрод «-» представляет из себя пластину из нержавеющей стали размерами

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

70×7×2 мм, заделанную в шов кладки на глубину 40 мм. Данный электрод расположен в верхней части кладки с обратной стороны конструкции и имитирует

шину заземления электрооборудования на зданиях железнодорожного транспорта. Кирпичная кладка установлена на изолирующий материал.

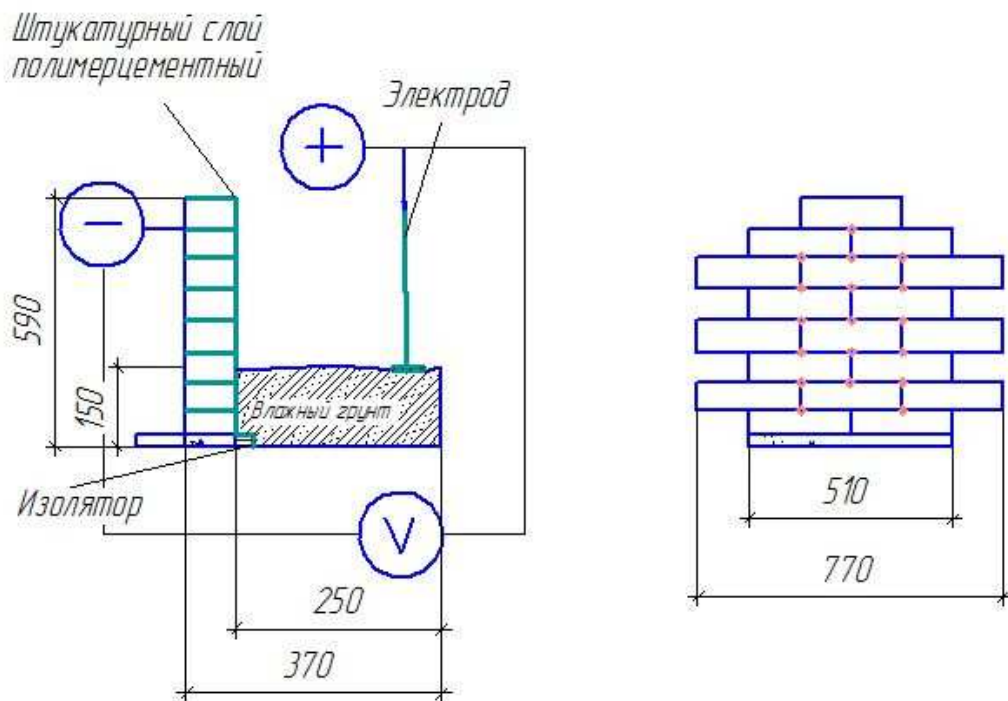


Рис. 1 Модель фрагмента здания и электрическая схема подачи разности потенциалов и измерения электрических характеристик

Как указано выше, всего изготовлено четыре конструкции из следующих материалов:

Образец №1 – кирпичная кладка с применением традиционного цементно-песчаного строительного кладочного раствора;

Образец №2 – кирпичная кладка с применением традиционного цементно-песчаного строительного кладочного раствора с оштукатуриванием поверхности таким же раствором;

Образец №3 – кирпичная кладка с применением полимерцементного раствора на основе карбамидной смолы в качестве кладочного;

Образец №4 – кирпичная кладка с применением полимерцементного раствора с оштукатуриванием поверхности таким же раствором.

Образец №1 и №2 являются контрольными, а №3 и №4 – основными. Конструкции находились в равных температурных и влажностных условиях. Грунт периодически увлажнялся для имитации осадков вблизи зданий и сооружений, а так же для поддержания заданной влажности. Как грунт, так и поверхность конструкций увлажнялись строго одинаковым количеством воды. Влажность грунта определялась в верхнем и нижнем его слоях. Сравнение влажности грунта после его сушки, показало допустимую разницу +/- 0,1 %.

В швы кирпичной кладки были заложены электроды из нержавеющей стали (рис. 2) размерами 50×70×2 мм для измерения потенциалов, возникающих на конструкции при прохождении постоянного электрического тока.



Рис. 2 Фотоснимок моделей фрагментов зданий из кирпичной кладки в лабораторных условиях

Электрические воздействия на все конструкции были также одинаковыми. Измерение потенциалов производились мультиметрами Sanwa PC-500, а показания тока в цепи во время электрического воздействия автоматически записывались с помощью программы PC Link (Plus) в память ПК через каждые 2 секунды. Зарегистрированные данные экспортировали в программу MS Excel, дополнительно обрабатывали и по ним строили графики изменения указанных величин в течение времени.

Электрические воздействия на конструкции осуществлялись согласно следующим методическим особенностям:

1. На конструкции подается постоянный однонаправленный электрический потенциал с длительностью воздействия 8 минут. Схема электрической цепи и расположение измерительных приборов изображены на рисунке 3.

2. Показания электрического тока в цепи на протяжении измерений записываются на ПК.

3. Измерения разности потенциалов между измерительными электродами на конструкциях и электродом «-» осуществляется последовательно от верхней зоны к нижней. Суммарная длительность измерений на одной конструкции должна быть в пределах 40 секунд.

4. Значения разности потенциалов определяются в следующем порядке:

- без подачи напряжения (до начала измерений);
- сразу после начала подачи напряжения;
- через 8 минут после начала подачи напряжения в момент после отключения питания;
- через 5 мин. после отключения питания;
- через 10 мин после отключения питания.

Перед началом замеров отбираются пробы грунта из нижней и верхней зон для определения влажности.

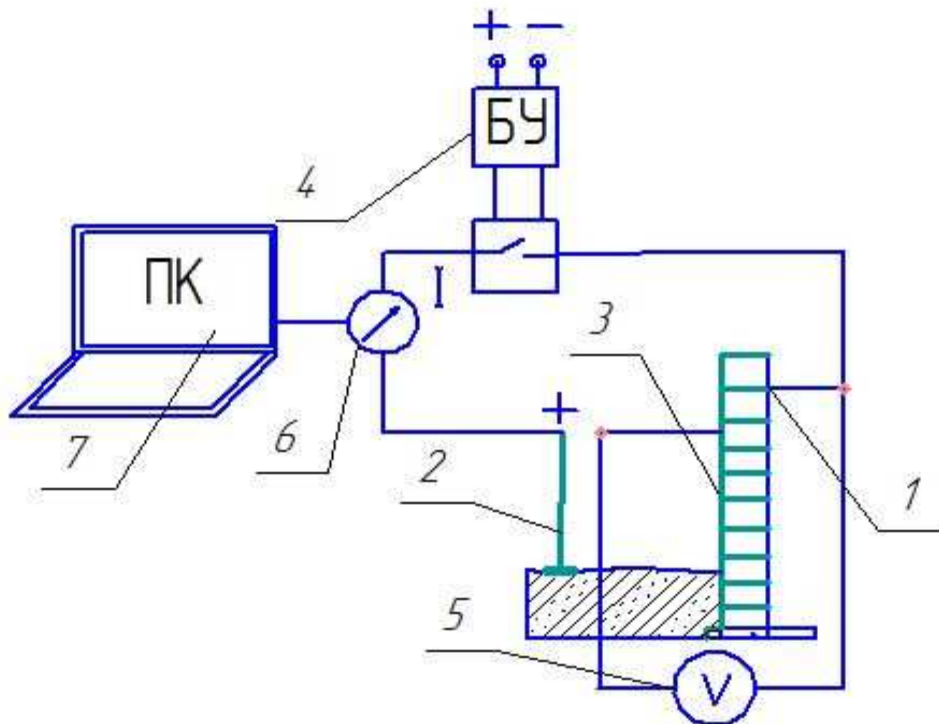


Рис. 3 Схема электрической цепи и расположение измерительных приборов:
1 – электрод «-»; 2 – электрод шина «+»; 3 – измерительные электроды; 4 - блок управления;
5 - мультиметр, определяющий потенциал на электродах; 6 - мультиметр, измеряющий ток в цепи; 7 - портативный компьютер.

Предварительные экспериментальные исследования. Нами были спланированы и проведены предварительные экспериментальные исследования с целью отладки и дальнейшей корректировки методики исследований перед длительными испытаниями. В качестве переменного фактора была принята влажность грунта и образцов. Исследования проводились при влажности грунта 3,5; 8; 15 и 21 %.

По результатам измерения разности потенциалов на электродах образцов во время подачи напряжения от внешнего источника питания были построены графики (рис.4-7).

Анализируя данные зависимости, можем сделать следующие выводы:

- для всех образцов характерно возрастание потенциала от электрода №1 к электродам №14-16;

- потенциалы на электродах образцов на основе цементно-песчаного раствора имеют более высокие величины, чем на образцах на основе полимерцементного раствора;
- потенциалы на электродах образца на основе цементно-песчаного раствора с оштукатуренной поверхностью выше чем на аналогичном образце без штукатурки, что может говорить о том, что наиболее благоприятным путем для прохождения тока является путь через кладочный раствор и слой штукатурки;
- при увлажнении грунта (песка) и конструкций потенциалы на них резко увеличиваются до 10 раз;
- при отключении источника питания потенциалы на электродах постепенно падают, что говорит о поляризации образцов (рис.8); для кирпичной кладки на цементно-песчаном растворе потенциалы падают с величинами 1,4 - 0,7 В. Для кладки с оштукатуренной поверхностью на

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

стандартном растворе потенциалы падают с величины 1,75 - 0,9 В;

- поляризация же образцов на основе полимерцементного раствора как с

оштукатуренной поверхностью, так и без практически отсутствует. Величина потенциала по поверхности стены колеблется в пределах 0,4 - 0,005 В.

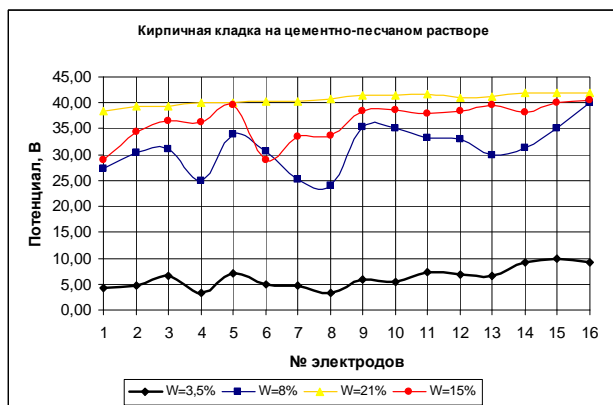


Рис. 4 Потенциалы на электродах образца кирпичной кладки на цементно-песчаном растворе во время подачи напряжения при различной влажности грунта

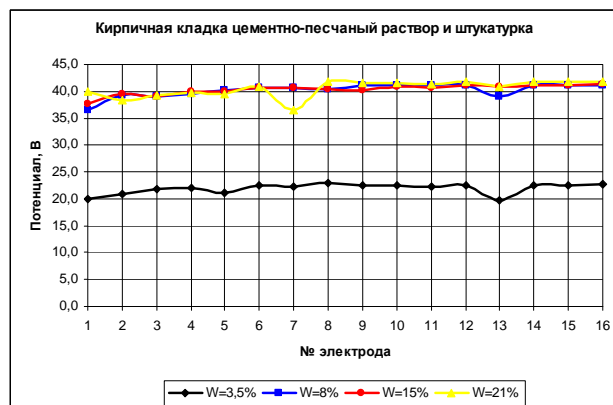


Рис. 5 Потенциалы на электродах образца кирпичной кладки на цементно-песчаном растворе и штукатурке во время подачи напряжения при различной влажности грунта

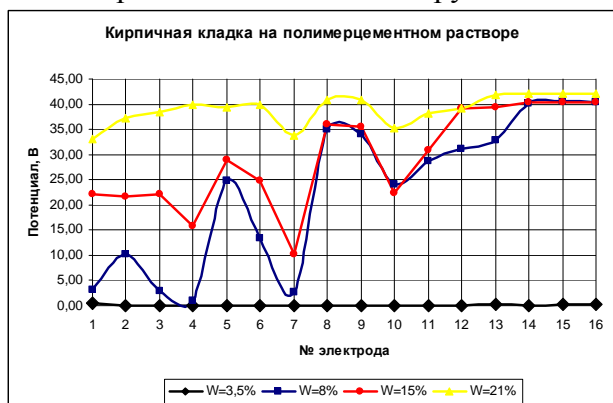


Рис. 6 Потенциалы на электродах образца кирпичной кладки на полимерцементном растворе во время подачи напряжения при различной влажности грунта



Рис. 7 Потенциалы на электродах образца кирпичной кладки на полимерцементном растворе и штукатурки во время подачи напряжения при различной влажности грунта

Однако наиболее важной электрической характеристикой в наших исследованиях является не потенциалы, а электрический ток в цепи. В предыдущих исследованиях нами было показано, что именно ток является критерием прохождения физико-химических процессов в материалах на основе цемента. Ток может раскрыть суть проходящих процессов (поляризации, массопереноса и т.д.). По результатам измерения силы тока в цепиво время подачи напряжения от внешнего

источника питания были построены графики (рис.9-12).

Анализируя данные графические зависимости изменения силы тока в цепи образцов при включенном напряжении 40 В при различной влажности, можем сделать следующие выводы:

- наибольшая величина силы тока (до 12 мкА) наблюдается в образце кирпичной кладки №1 на основе цементно-песчаного раствора (кроме влажности 3,5% – образец

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

№2), наименьшая – у образцов на основе полимерцементного раствора;

- во всех образцах первые 60-90 сек наблюдаются скачки тока с амплитудой 3-4 мкА длительностью 5-10 секунд, затем по прошествии 1-2 минут скачки силы тока прекращаются; данные скачки могут

свидетельствовать о проходящих физико-химических процессах в образцах во время приложения напряжения;

- в некоторых случаях наблюдается некоторый сдвиг скачков от начала воздействия в более поздние сроки.

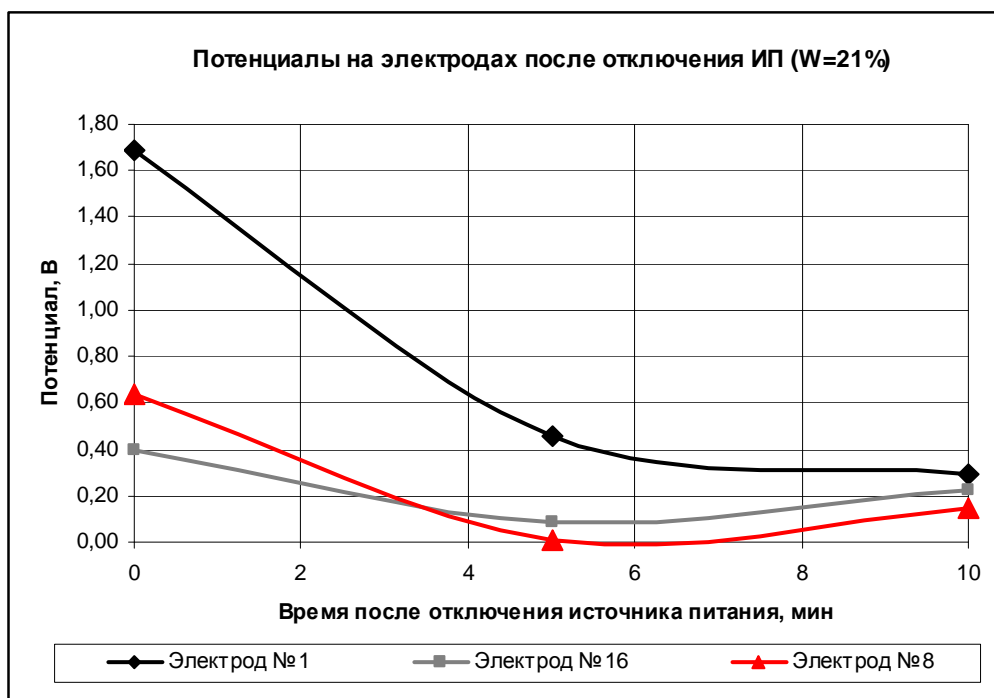


Рис. 8 Потенциалы на электродах №1,8 и 16 после отключения внешнего источника питания при влажности 21 %

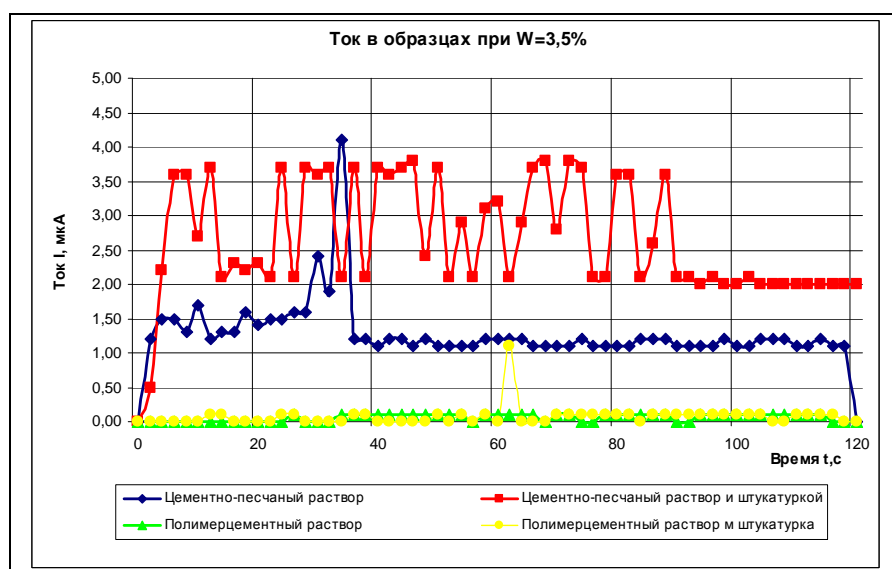


Рис. 9 Сила тока в образцах при влажности грунта W=3,5%

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

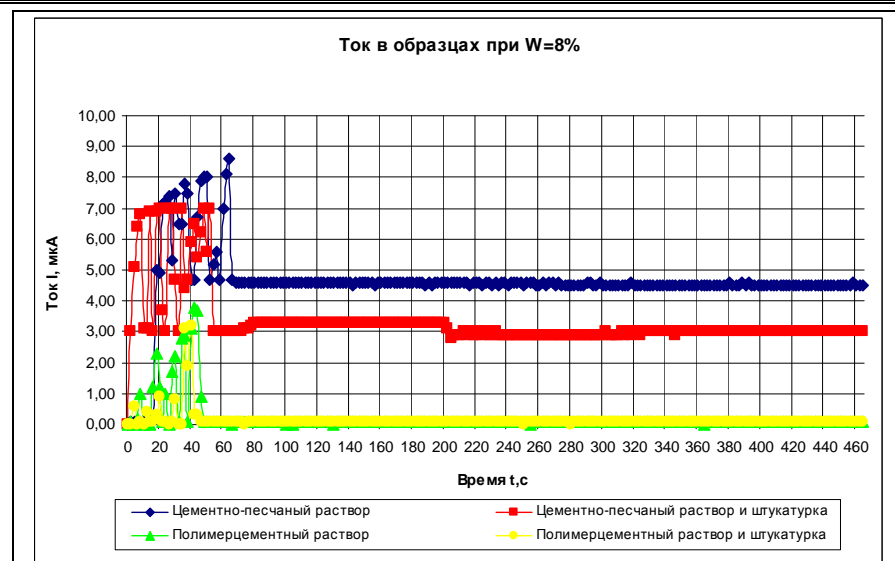


Рис. 10 Сила тока в образцах при влажности грунта W=8%

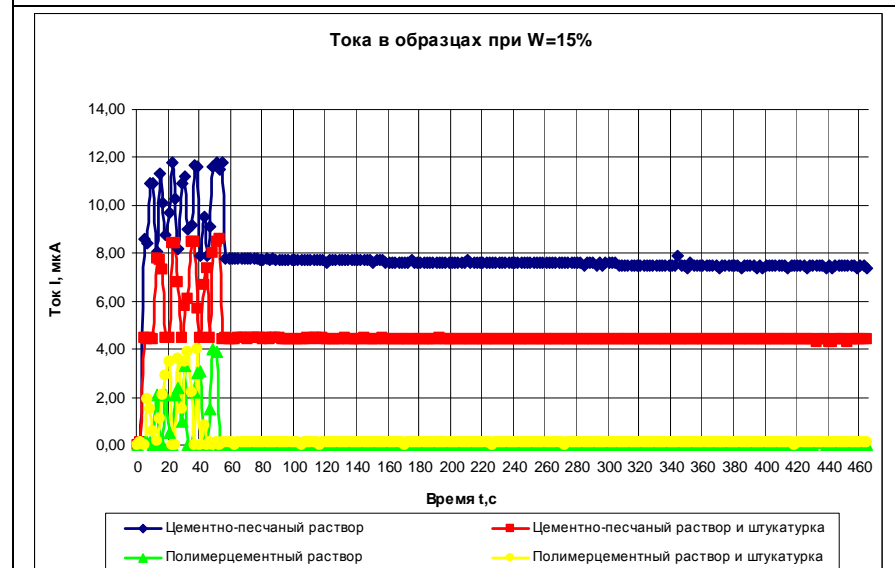


Рис. 11 Сила тока в образцах при влажности грунта W=15%

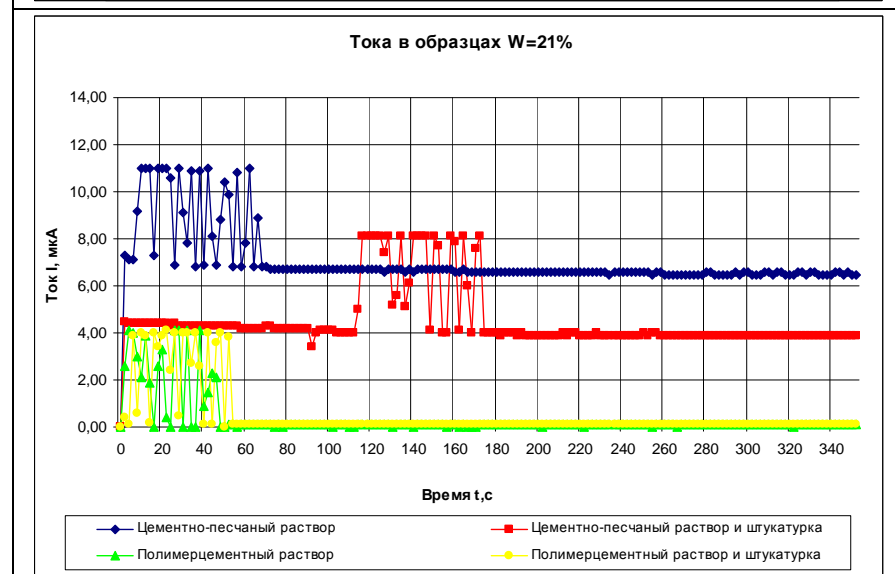


Рис. 12 Сила тока в образцах при влажности грунта W=21%

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Выводы. Таким образом, полученные экспериментальные данные и сделанные по ним выводы подтверждают преимущества полимерцементных растворов при строительстве и восстановлении зданий и сооружений эксплуатируемых в сложных условиях железнодорожного транспорта. Однако очень важным является продолжение экспериментальные исследования для более глубокого понимания физико-химических процессов в каменных кладках из различных материалов.

Список используемых источников

1. Плагин А.Н., Плагин Ал.А., Дудин Ал. А., Борзяк О.С., Плагин А.А., Плагин Д.А. Исследование влияния токов утечки и блуждающих токов на здания и сооружения, расположенные возле электрифицированных железнодорожных путей. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2009, вип. 40. – с.88-104.
2. Плагин А.А. Исследование влияния электрического поля на прочность цементного камня [Текст] / А.А. Плагин, Ал.А. Плагин, А.А. Забияка, В.В. Перестюк, С.Г. Нестеренко // Зб. наук. пр. / Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2012. – Вип.130. – С.56-64.
3. Плагин А.Н. Влияние постоянных токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций [Текст] / А.Н. Плагин, Ал.А. Плагин, А.А. Конев, И.А. Козеняшев, С.Г. Нестеренко // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2012. – Вип.130. – С.64-71.
4. Нестеренко С.Г. Розроблення полімерцементного розчину оптимального складу [Текст] / С.Г. Нестеренко // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2013. – Вип.138. – С.188-192.
5. Плагин А.Н. Экспериментальная проверка технологических характеристик и электросопротивления полимерцементного раствора с карбамидной смолой [Текст] / В.В. Палий, А.Н. Пшинько, А.Н. Плагин, А.А. Плагин, С.Г. Нестеренко, А.А. Конев // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2012. – Вип.134. – С.235-241.
6. Блуждающие токи на конструкциях, зданиях и сооружениях, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участках железных дорог/ А.Н. Плагин, А.А. Плагин, Ал.А. Плагин [и др.] // Зб. наук. праць УкрДАЗТ: Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті. - Харків, 2009. - Вип. 109. - С.131-143.

Рецензент д-р техн. наук, професор Шабанова Г.Н.

Плагін Олексій Андрійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 771-46-91; E-mail: plugin07@rambler.ru

Нестеренко Сергій Григорович, аспірант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (097) 905-00-17; E-mail: nesterenko-sg@mail.ru

Конев Олександр Анатолійович, канд. техн. наук, інженер кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (097) 722-59-68; E-mail: konev-0411@mail.ru

Никитинський Андрій Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050) 908-94-30; E-mail: nikitinskiy-av@mail.ru

Колесніков Марк Олександрович, студент 5-го курсу будівельного факультету Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (099)793-42-99; E-mail: 380997934299@mail.ru

Plugin Oleksii Andriyovich, Ph.D, Assoc.Prof. of the department "Building materials and constructions" Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 771-46-91; E-mail: plugin07@rambler.ru

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Nesterenko Sergiy, postgraduate of the department “Building materials and constructions” Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (097) 905-00-17; E-mail: nesterenko-sg@mail.ru

Konev Oleksandr Anatoliyovich, Ph.D, engineer of the department “Building materials and constructions” Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (097) 722-59-68; E-mail: konev-0411@mail.ru

Nikitinskiy Andrii Volodimirivich, Ph.D, Assoc.Prof. of the department “Building materials and constructions” Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (050) 908-94-30; E-mail: nikitinskiy-av@mail.ru

Kolesnikov Mark Oleksandrovich, 5th year student of the department “Building materials and constructions” Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (099)793-42-99; E-mail: 380997934299@mail.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р