

УДК 691.3

ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ В ОБВОДНЕННОМ БЕТОНЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Канд. техн. наук Ал.А. Плагин, д-р хим. наук А.Н. Плагин, д-р техн. наук А.А. Плагин, ассист. А.А. Конев, А.А. Забияка

ТРИЩИНОУТВОРЕННЯ В ОБВОДНЕНОМУ БЕТОНІ ПРИ ДІЇ ПОСТІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Канд. техн. наук О.А. Плагін, д-р хим. наук А.М. Плагін, д-р техн. наук А.А. Плагін, ассист. О.А. Конєв, О.А. Забіяка

THE ORIGINATION OF CRACKS IN THE WATERED CONCRETE UNDER THE INFLUENCE OF A DIRECT CURRENT

Cand. of techn. sciences Al.A. Plugin, doct. of chem. sciences A.N. Plugin, doct. of techn. sciences A.A. Plugin, assistant A.A. Konev, A.A. Zabyaka

В данной статье приводятся результаты исследований трещинообразования в обводненном бетоне при воздействии пульсирующего однонаправленного электрического потенциала путем прямых наблюдений за развитием трещин с помощью оптико-микроскопического анализа, а также путем анализа возникновения электрических потенциалов и их распределения по высоте образца.

Ключевые слова: образование трещин, обводненный бетон, электрический потенциал, постоянный ток, электрический заряд, деформации, внутренние напряжения.

У даній статті наводяться результати досліджень процесу виникнення тріщин в обводненому бетоні при дії пульсуючого односпрямованого електричного потенціалу шляхом

прямих спостережень за розвитком тріщин за допомогою оптико-мікроскопічного аналізу, а також шляхом аналізу виникнення електричних потенціалів та їх розподілу по висоті зразка.

Ключові слова: виникнення тріщин, обводнений бетон, електричний потенціал, постійний струм, електричний заряд, деформації, внутрішні напруження.

This article presents the results of research of the crack origination in the watered concrete under the influence of a pulsating unidirectional electric potential. The research carried out by means of direct observations on the opening of cracks by optical microscopy analysis and by analysis of the origin of electrical potentials and their distribution over the height of the concrete sample. First was shown that the direct electric potential contributes to crack origination in the watered concrete. It was proposed the mechanism of the physical and chemical processes in the concrete during the origination of cracks.

Keywords: crack origination, watered concrete, electrical potential, direct current, electric charge, deformation, internal stress.

Введение. Исследования коллектива ученых кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений УкрГАЗТ в области электрокоррозии бетона показали, что при воздействии пульсирующего однонаправленного электрического потенциала (ПОЭП), а также переменного потенциала на обводненный бетон происходит разрушение цементного камня. Представленные в данной статье исследования являются продолжением и углублением начатых ранее исследований.

Цель исследований. Проверка факта трещинообразования в обводненном бетоне при длительном воздействии на него ПОЭП. Определение распределения электрического потенциала по высоте образца.

Критический анализ литературных данных. Как показано в работах [1, 2, 3], разрушение цементного камня происходит при воздействии ПОЭП на обводненный бетон. Это разрушение происходит за счет интенсификации выщелачивания портландита из цементного камня в водный поток. Кроме того, пульсирующий однонаправленный электрический потенциал, поляризуя бетон, в целом вызывает повышение концентрации одноименно заряженных частиц (ионов) в крайних зонах бетонного образца или конструкции. В зоне образца, к которой

прилежит электрод с положительным потенциалом, наблюдается повышение концентрации анионов OH^- , а в зоне контакта с водой – повышение концентрации катионов Ca^+ . Таким образом, в бетоне возникают зоны избыточного заряда. Нами в работе [3] было выдвинуто предположение, что в зонах избыточного заряда может происходить увеличение внутренних растягивающих напряжений, в результате чего может происходить понижение прочности, появление деформаций и даже трещинообразование в бетоне. Поэтому был поставлен ряд экспериментов, направленных на подтверждение или опровержение указанных предположений.

Так, в работе [4] представлены результаты исследования изменения прочности при изгибе стандартных балочек из цементно-песчаного раствора при их поляризации напряжением 40 В. Было экспериментально установлено, что при приложении постоянного электрического поля на образцы из цементно-песчаного раствора малой прочности (с высоким В/Ц) эффекта изменения прочности не наблюдалось, а при приложении постоянного электрического поля на образцы из раствора высокой прочности наблюдался сброс прочности на 14 %. Позднее, после усовершенствования

методики измерений, нами было установлено влияния электрического напряжения на прочность цементно-песчаных балок различной прочности. В настоящее время рассматривается механизм этого влияния.

В работе [5] были представлены результаты экспериментальных исследований влияния ПОЭП на трещинообразование в бетоне, где показано по данным разрыва проволоочных датчиков, что при длительном воздействии ПОЭП на бетон в нем возникают трещины. В статье приводятся результаты дальнейших исследований путем прямых наблюдений за развитием трещин с помощью оптико-микроскопического анализа, а также путем анализа возникновения электрических потенциалов и их распределения по высоте образца.

Методы исследований и материалы. Методика исследований заключается в воздействии ПОЭП на бетонный образец (призма) $400 \times 100 \times 100$ мм, погруженный в проточную воду (рис. 1). Режим циклического электрического воздействия на образец: включено – 8 минут, выключено – 10 минут. В образце на различном расстоянии по высоте расположены электроды с шагом 100 мм. В нижней зоне образца расположено три электрода на расстоянии 10 мм от нижней грани. Измеряли разность потенциалов «верхний электрод – закладной электрод» согласно схеме и силу тока в цепи (рис. 2). Был произведен оптико-микроскопический анализ нижней грани образца.

В образце использован бетон невысокой прочности (10 МПа). Состав бетона приведен в таблице.



Рис. 1. Фото установки с образцом бетона

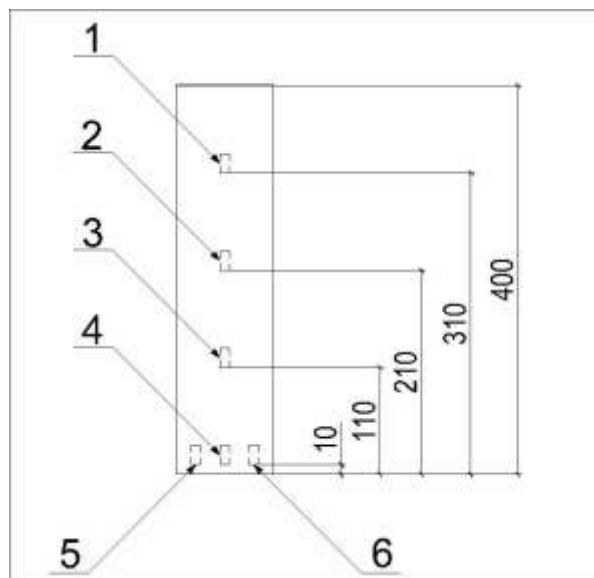


Рис. 2. Схема расположения электродов в образце

Таблица

Состав бетона и его технические и технологические характеристики

Прочность бетона, МПа	ОК, см	Ц, кг/м ³	П, кг/м ³	Щ, кг/м ³	В, л/м ³	СП, кг/м ³	В/Ц
10	3÷4	167	667	1310	200	–	1,2

Исследования повреждений и трещинообразования в бетоне. В результате воздействия ПОЭП напряжением 30 В на бетонный образец в течение 740 суток (2 года и 10 дней) невооруженным глазом были обнаружены следующие повреждения:

- тонкие трещины на грани образца, контактирующего с водой (рис. 3, *a*);
- разрушение поверхности бетона (отслаивание, выкрашивание) (рис. 3, *б*).

Согласно выполненному оптико-микроскопическому анализу с увеличением

фрагментов с трещинами длина трещин составляет 20-30 мм каждая (рис. 4). Трещина 1 имеет длину около 30 мм и ширину раскрытия менее 0,05 мм. Трещина 2 шириной 0,03-0,07 мм (рис. 5) полностью заполнена новообразованиями белого цвета, что говорит о большем ее возрасте по сравнению с трещинами 1 и 3. Трещина 1 является развитием трещины 2. Трещина 3 имеет длину около 20-25 мм и ширину раскрытия менее 0,05 мм (рис. 6).

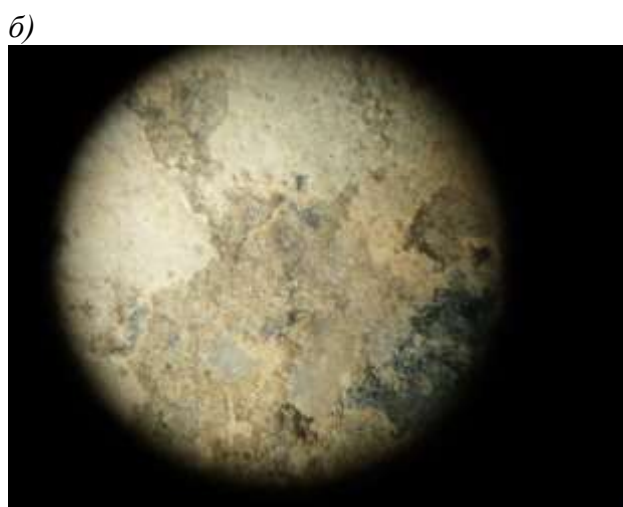
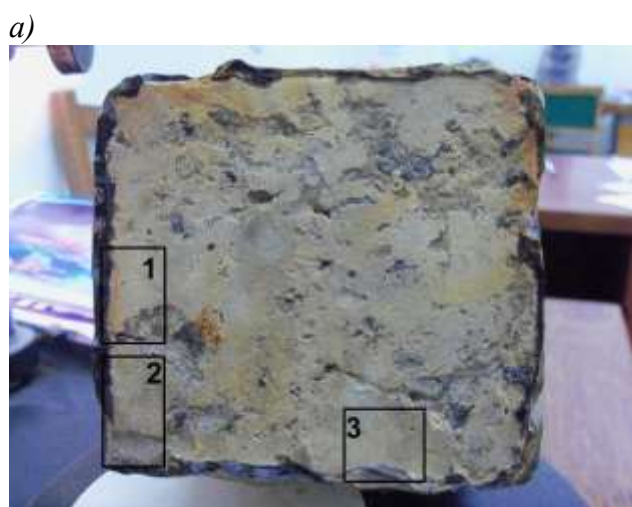


Рис. 3. Фото нижней грани бетонного образца с повреждениями: *a* – нижняя грань с окнами, где возникли трещины; *б* – увеличенный фрагмент с отслаиванием и выкрашиванием поверхности бетона; 1 – окно с трещиной 1 под углом 30° к боковой грани образца; 2 – окно с трещиной 2 и новообразованиями в ней белого цвета; 3 – окно с трещиной 3 под углом 30-45° к боковой грани образца



Рис. 4. Фрагмент трещины 1 из рис. 3, *a* (увеличение $\times 25$)



Рис. 5. Фрагмент трещины 2 из рис. 3, *a* (увеличение $\times 12,5$)

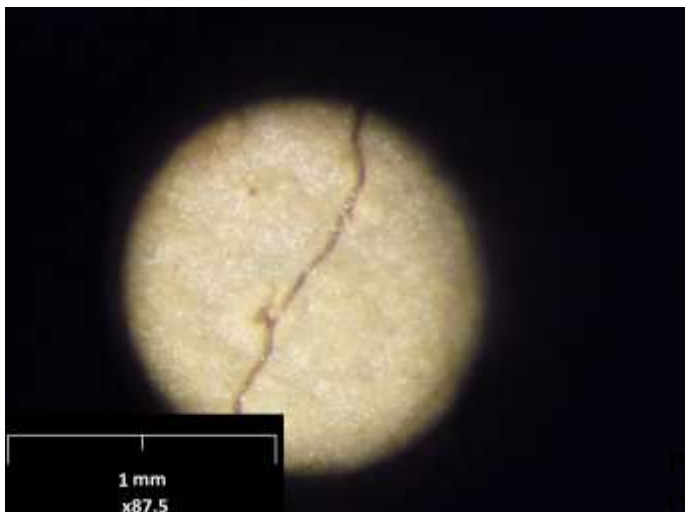


Рис. 6. Фрагмент трещины 3 из рис. 3, а (увеличение $\times 87,5$)

Такой характер трещин (сквозные на значительную глубину) при небольшом объеме образца (10x10x40 см) исключает их образование за счет таких факторов, как усадка бетона и контракция цементного камня. Проверка показала одинаковую температуру образца по всей его поверхности, что исключает возможность образования трещин из-за разной температуры.

Исключена также возможность возникновения трещин из-за давления от продуктов коррозии закладных электродов путем их изготовления из нержавеющей

стали. Кроме того, эти электроды не подключались к электрической цепи.

Следовательно, возникновение трещин произошло в результате воздействия ПОЭП на образец, находящийся в проточной воде в течение длительного времени.

На рис. 7 представлен график изменения разности потенциалов «положительный электрод – закладной электрод» в течение длительного времени (12 000 часов). Показания разности потенциалов снимались через 1 минуту после подачи напряжения на образец в каждом цикле.

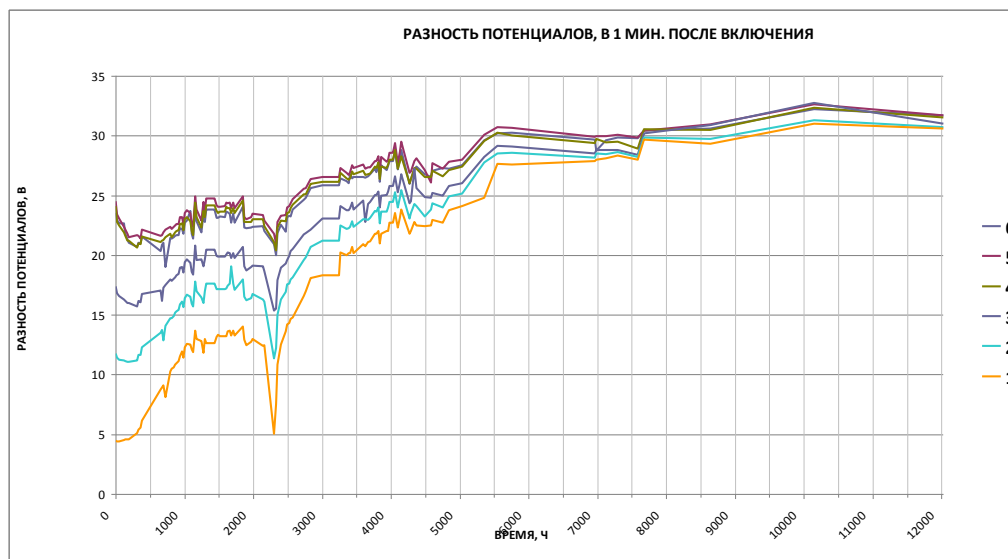


Рис. 7. Разность потенциалов «положительный электрод – закладной электрод» через 1 минуту после подачи напряжения

На рис. 8 представлений графік змінення різниці потенціалів «положительный электрод – закладной электрод» через 1 минуту після відключення напруги в кожному циклі

електрод». Показання різниці потенціалів снимались через 1 минуту після відключення напруги.

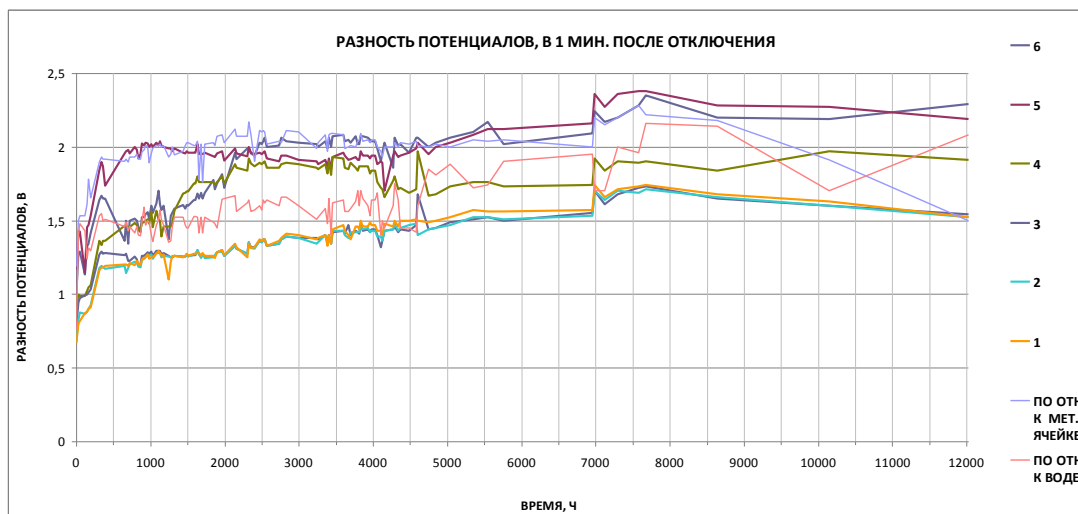


Рис. 8. Разность потенциалов «положительный электрод – закладной электрод» через 1 минуту после отключения напряжения в каждом цикле

По данным этих графиков построены графики изменения разности потенциалов «положительный электрод – закладные электроды 1÷6» через длительные промежутки времени 1500, 3000, 5000 и 10 000 часов (рис. 9, 10).

електроды 1÷6» через длительные промежутки времени 1500, 3000, 5000 и 10 000 часов (рис. 9, 10).

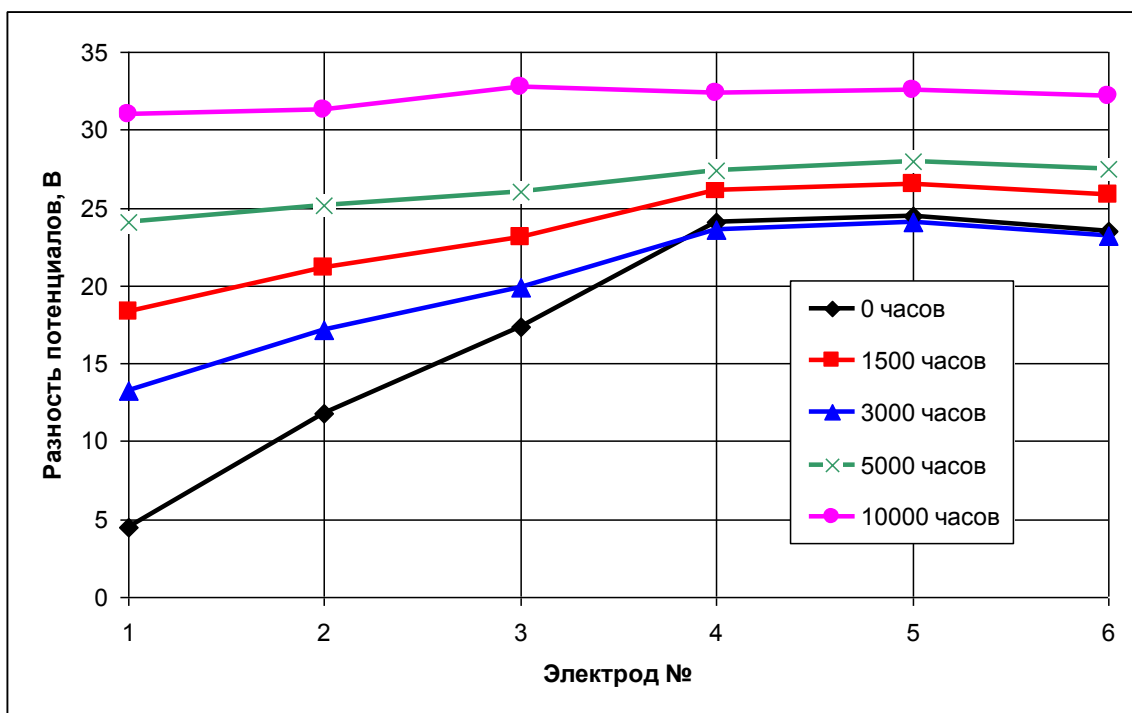


Рис. 9. Разность потенциалов на различных электродах через 1 минуту после включения напряжения в каждом цикле

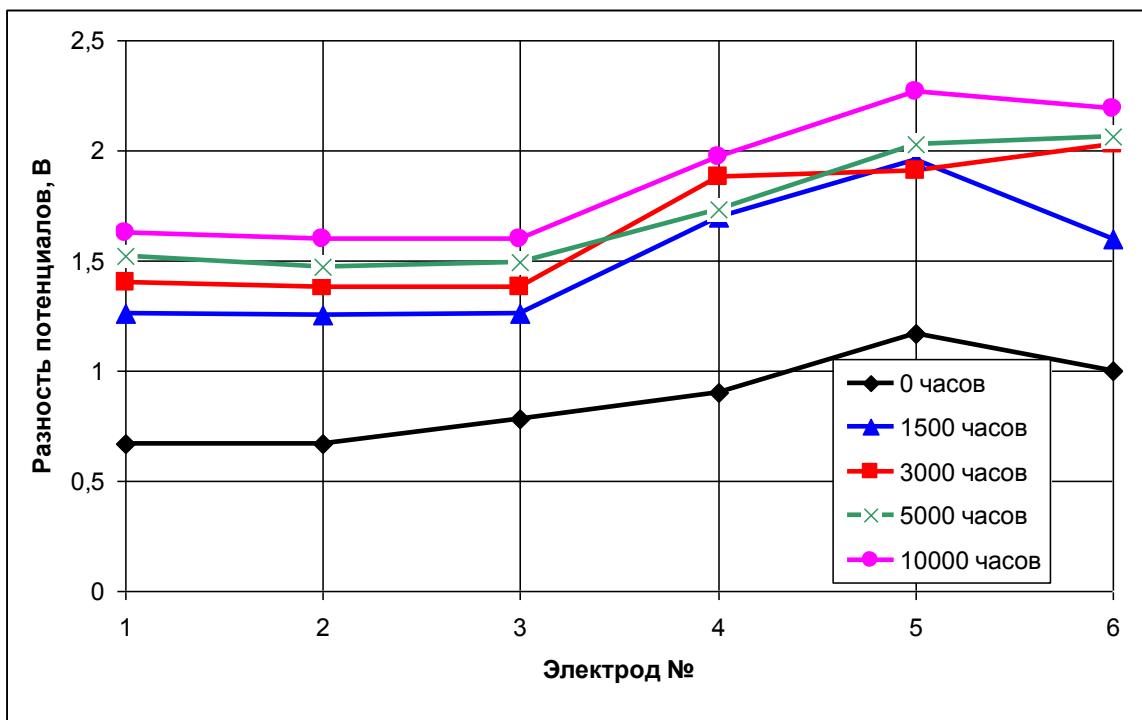


Рис. 10. Разность потенциалов на различных электродах через 1 минуту после отключения напряжения в каждом цикле

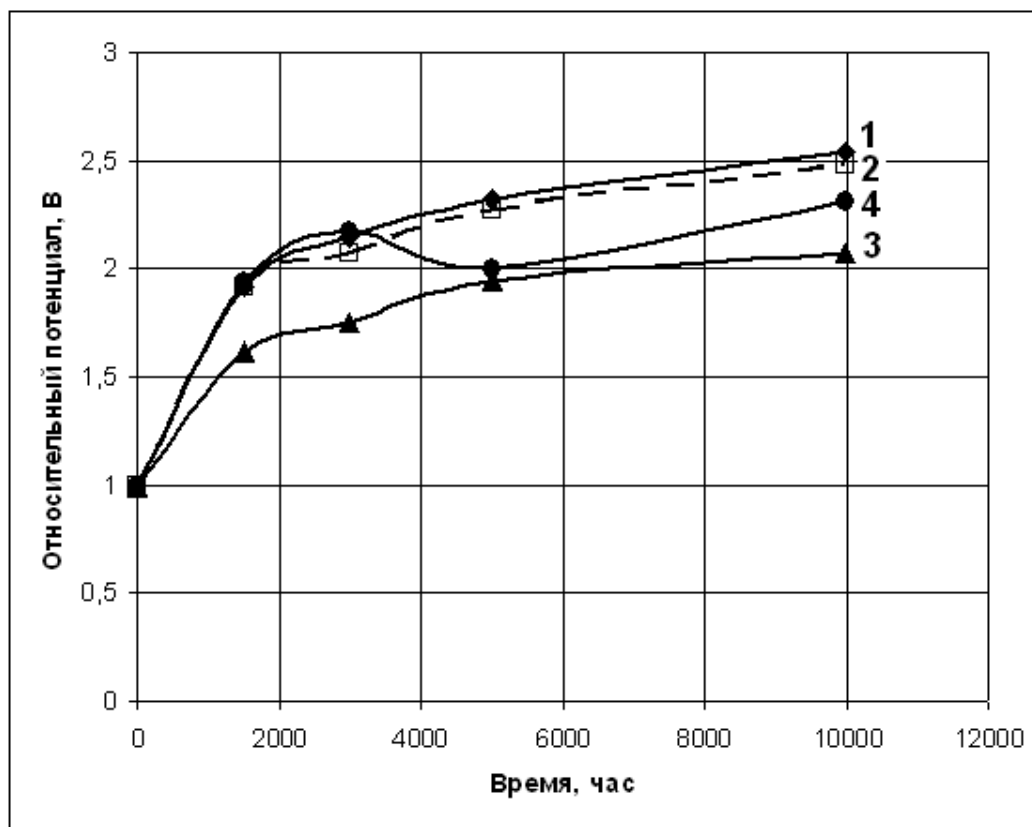


Рис. 11. Зависимость относительного потенциала на электродах 1, 2, 3 и 4 в течение длительного времени

Определим величины относительных потенциалов для электродов 1-4. Относительный потенциал определяем как отношение величины потенциала в определенный момент времени к его первоначальной величине. Построим графики зависимости относительных потенциалов (далее потенциалы) в течение длительного времени (рис. 11). Как видно из рис. 11, в электроде 3 потенциал сразу после начала воздействия напряжения значительно сильнее уменьшается, чем в остальных, и остается наименьшим до конца эксперимента. Величина потенциала нижнего электрода 4 остается в течение 2000 часов, как у верхних электродов, а к 3000 часам даже становится большим. Это свидетельствует о том, что сверху вниз переносятся электромиграционным потоком катионы Ca^{2+} , не успевая переходить в раствор и накапливаясь в нижней зоне образца. Однако к 5000 часам потенциал электрода 4 резко уменьшился.

Такое резкое уменьшение потенциала на электроде 4 свидетельствует о том, что в

подошве образца образовалась трещина, в нее попала вода, понизив концентрацию $Ca(OH)_2$. Вскоре его концентрация восстановилась, и потенциал снова увеличился.

Выводы и рекомендации.

Установлено, что действие пульсирующего однонаправленного электрического потенциала (ПОЭП) на обводненный бетон обусловлено неравномерным растворением продуктов гидратации цемента, главным образом гидроксида кальция, по его глубине (высоте).

Это в свою очередь приводит к неравномерному накоплению по глубине бетона отрицательных и положительных потенциалов и избыточных зарядов и связанных с ними растягивающих напряжений и деформаций, что и является причиной возникновения трещин в бетоне.

Предложено углубить дальнейшие исследования с помощью методов физико-химического анализа.

Список использованных источников

1. Исследование влияния токов утечки и блуждающих токов на здания и сооружения, расположенные возле электрифицированных железнодорожных путей [Текст] / А.Н. Плугин, Ал.А. Плугин, А.А. Дудин [и др.] // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2009. – № 40. – С. 88-104.
2. Плугин, Ал.А. Исследование влияния величины напряжения пульсирующего однонаправленного постоянного электрического поля на электрокоррозию бетона [Текст] / Ал.А. Плугин // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 115. – С. 56-67.
3. Плугин, Ал.А. Влияние постоянного тока на бетон обводненных конструкций и сооружений, расположенных вблизи электрифицированных железнодорожных путей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Ал.А. Плугин. – Харьков, 2010. – 256 с.
4. Плугин, Ал.А. Исследование влияния электрического поля на прочность цементного камня [Текст] / Ал.А. Плугин, А.А. Забияка, В.В. Перестюк [и др.] // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип.130. – С. 56-63.
5. Плугин, А.Н. Влияние постоянных токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций [Текст] / А.Н. Плугин, Ал.А. Плугин, А.А. Конев [и др.] // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип.130. – С. 64-69.

Плугін Олексій Андрійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-62. E-mail: plugin07@rambler.ru.
Плугін Аркадій Миколайович, д-р хім. наук, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-62. E-mail: plugin.star@mail.ru .

Будівельні матеріали та конструкції

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-62. E-mail: plugin_aa@rambler.ru.

Конєв Олександр Анатолійович, асистент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-62. E-mail: konev_0411@mail.ru.

Забіяка Олександр Анатолійович, зам. начальника відделення діагностики інженерних споруд Головного управління колійного господарства «Укрзалізниця» Тел.: (067) 379-82-03. E-mail: zabiya@uz.gov.ua.

Plugin Alexey, cand. of techn. sciences department building materials and structures konstruksiy Ukrainian State Academy of Railway Transport . Tel. : (057) 730-10-62 . E -mail: plugin07@rambler.ru.

Plugin Arkady, doct. of chem. sciences, professor department of building materials and structures konstruksiy Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. : (057) 730-10-62 . E -mail: plugin.star @ mail.ru.

Plugin Andrew, doct. of techn. sciences, professor department of building materials and structures konstruksiy Ukrainian State Academy of Railway Transport . Tel. : (057) 730 -10- 62.E -mail: plugin_aa@rambler.ru.

Konev Alexander, assistant department of building materials and structures konstruksiy Ukrainian State Academy of Railway Transport . Tel. : (057) 730-10-62 . E -mail: konev_0411@mail.ru.

Zabiyaka Alexander, deputy. chief of the diagnosis of engineering structures General Directorate of track facilities " UZ "Tel.: (067) 379-82-03. E -mail: zabiya@uz.gov.ua.