УДК 681.518.5:620.197.5:691.328.1

В.А. ПАНЧЕНКО, ст. препод., ПНТУ им. Юрия Кондратюка.

МОНИТОРИНГ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА И КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ПОСРЕДСТВОМ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ СПАДА ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА

У роботі приведені результати експериментальних досліджень в діагностиці катодного захисту залізобетону. Запропоновані параметри і методи моніторингу. Публікація розкриває можливості простого аналізу функції спаду поляризаційного потенціалу для додаткової оцінки стану об'єкту і протікання процесу.

In the work the results of experimental researches in diagnostics of cathode protection of reinforced concrete are carried out. The parameters and methods of monitoring are offered. The publication opens opportunities of the simple analysis of function of recession of polarizing potential for an additional estimation of a condition of object and course of process.

Введение. Одна из основных причин разрушения многих железобетонных конструкций - коррозия стальной арматуры железобетона. Существенно приостановить уже начавшийся процесс коррозии способен лишь катодный метод защиты. Применение этого метода в странах Западной Европы и США показало его высокую экономическую эффективность [1]. Однако в технологии катодной защиты существует целый спектр инженерных и научных задач, которые и обуславливают проведение дальнейших исследовательских работ. Развитие технологии электрохимической защиты железобетона, повышение её качества, уровня автоматизации и соответственно степени эффективности зависит в первую очередь от информативных возможностей системы мониторинга самого устройства катодной защиты.

Постановка задачи. Классическим параметром, по которому делают выводы об эффективности защиты и достаточности интенсивности тока катодной поляризации, является поляризационный потенциал, значение которого получается через специальный электрод сравнения. Однако величина потенциала при поляризации металла не может быть измерена прямым путём и даёт лишь частичную информацию о состоянии объекта и обеспечении качества процесса катодной защиты. Использование же мощных вычислительных диагностических устройств, разнообразных методов коррозионного мониторинга и увеличение количества применяемых датчиков кардинально усложняет систему, вызывает проблему её технической реализации, а также проблему поддержания работоспособности устройства на удалённом от оператора объекте и бывает попросту невозможно при реализации вне лабораторных условий на реальных инженерных сооружениях. При этом актуальной является задача повышения

информативных возможностей системы мониторинга на удалённом инженерном сооружении вне лабораторных условий и без существенного её усложнения. Решение этой задачи может быть найдено при получении дополнительной информации в классической системе мониторинга с электродом сравнения. При этом дополнительная информация относительно коррозионного состояния металла в бетоне и необходимой интенсивности поляризации, для обеспечения требований по качеству защиты, может быть получена в коммутационной системе контроля потенциала. После прерывания цепи необходимо обеспечить проведение анализа характера спада потенциала. В мониторинге электрохимических процессов уже нашли широкое применение методы, которые основаны на получении и анализе амплитудно-частотных характеристик объекта в электрической цепи. Так, например, в [2] сообщается об успешном применении метода импедансной спектроскопии при оценке типа и степени коррозии металла. В [3] сообщается о хорошей информационной возможности и перспективности развития методов, основанных на анализе переходных функций поляризационного потенциала.

Как известно анализ переходной функции диагностического параметра может быть использован для определения неизвестных и недоступных для измерения параметров объекта, которые способны характеризовать его техническое состояние. В мониторинге процесса катодной защиты это открывает дополнительные возможности при оценке качества и эффективности процесса, коррозионного состояния металла без существенных технических усложнений диагностической системы.

Основная часть. В результате проведённых нами исследований была построена математическая модель, которая может быть представлена в виде структурной схемы, изображена на рис. 1.

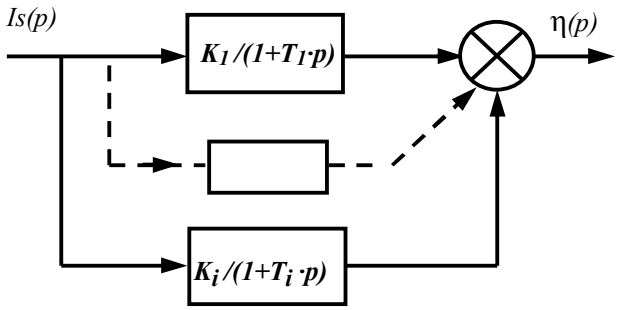

Рис. 1. Структурная схема объекта диагностики катодной защиты для периода времени после разрыва электрической цепи поляризации

Модель описывает состояние объекта диагностики – метала в железобетоне, в электрической цепи катодной поляризации при коммутационном методе проведения измерений, т.е. в системе, когда измерение потенциала производится после обрыва цепи поляризации. Здесь Is – плотность тока поляризации, задаётся в виде шаговой функции; η(p) - изображение функции спада перенапряжения – величины смещения потенциала относительно начального его значения. Модель представляет собой параллельный ряд звеньев с апериодическими передаточными функциями первого порядка, что характеризуются серией параметров Ti-Ki. По самим этим параметрам и можно получать информацию относительно коррозионного состояния металла и обеспечения качества катодной защиты. Однако для получения серии параметров Ti - Ki устройство катодной защиты должно быть снабжено вычислительной системой аппроксимации переходной функции с оценкой степени погрешности. Также результаты проведенных нами исследований приводят к выводу о технических трудностях в реализации самого коммутационного метода получения переходного процесса потенциала и наличия дополнительной погрешности при получении самой этой функции [4], что неизменно приводит и к дополнительным погрешностям в определении величин Ti - Ki. В качестве решения проблемы была предложена упрощённая операция идентификации состояния объекта, минуя определение параметров Ti - Ki.

Переходной процесс спада потенциала представляется экспоненциальным рядом.

$$\eta(t) = Is\kappa \sum_{i=1}^{n} Ki \cdot e^{-t/Ti} \qquad (1)$$

Скорость спада на начальном этапе экспоненты приближена к величине отношения характеризующих её параметров Ki/Ti (когда величина Ti_{+1} намного больше Ti) Таким образом, достаточно оценить величину спада потенциала $\Delta\varphi$ за некоторый промежуток времени Δt, чтобы оперировать с величинами практически пропорциональными отношению Ki/Ti. Результаты исследований показали, что измеряемая величина спада $\Delta\varphi$, с некоторым допущением пропорциональная отношению недоступных для измерения величин Ki/Ti, способна указать на важный агрессивный коррозионный показатель среды – наличие хлоридов в железобетоне, а также определить стохастически изменяющийся в эксплуатационных условиях показатель обеспечения качества катодной защиты - перенапряжение η.

Для количественного анализа было построено пространство признаков. По оси X строилась шкала статических диагностических параметров, таких как поляризационный потенциал φ и величина перенапряжения - η. По оси Y строилась шкала динамических

диагностических параметров, в качестве которых была предложена величина падения потенциала на переходной функции за некоторый промежуток времени Δt. Были выделены три зоны – три временных интервала для оценки величины падения потенциала. Первый интервал: φ (0 мкС) - φ (100 мкС); второй интервал: φ (100мкС) - φ (1мС); третий интервал: φ (1мС) - φ (10мС). Для осуществления дальнейшего проведения идентификации объектов методом распознавания образов на полученных кривых пространства признаков отмечались координаты недоступных для диагностики на удалённом объекте параметров, таких как плотность тока защиты и результирующий ток коррозии. Качественный анализ разделил области кривых при распознавании загрязнения хлоридами и указал на приоритетность использования на пространстве признаков именно перенапряжения η, а не величины поляризационного потенциала - φ.

Один из примеров расположения семейства зависимостей диагностических параметров на пространстве признаков представлен на рис.2.

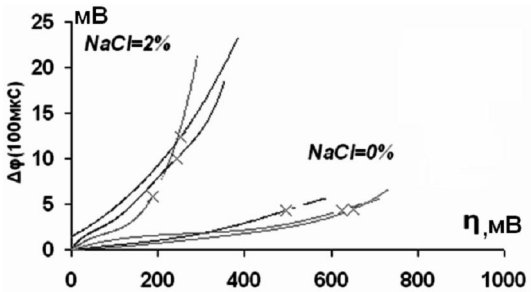

Рис. 2. Зависимость величины падения потенциала за интервал в 100 мкС от величины перенапряжения, при котором происходило измерение для образцов с различной степенью загрязнения хлоридами

Разделение областей кривых указало на возможность оценки явления загрязнения бетона хлоридами.

Для количественного анализа был предложен параметр тангенса угла наклона линии - tgα, построенной к точкам исследуемой зависимости. При этом для оценки усреднённой величины tgα было обоснована приоритетность использования секущей перед использованием касательной.

На следующем этапе была проведена статистическая обработка результатов, согласно усреднённым значениям tgα исследуемых зависимостей на пространстве признаков, а также произведено уменьшение диапазона измерений для улучшения качества идентификации посредством исключения зоны значений с малыми величинами, где присутствует

наибольшая относительная погрешность измерений. Это позволило кардинально уменьшить стандартное отклонение тангенсов улов - $tg\alpha$. Результаты обработки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты статистической обработки величин тангенсов наклона секущих к точкам на исследуемых диагностических зависимостях

Зона	NaCl	Xср.арифм.	Sоткл	Sоткл %	$tg\alpha$ (2%)/ $tg\alpha$ (0%)
1 интервал	NaCl=0%	0,0062	0,0017	28,13	6,97
1 интервал	NaCl=2%	0,0430	0,0109	25,29	
2 интервал	NaCl=0%	0,0156	0,0029	18,26	4,21
2 интервал	NaCl=2%	0,0657	0,0225	34,30	
3 интервал	NaCl=0%	0,0279	0,0060	21,60	2,04
3 интервал	NaCl=2%	0,0570	0,0053	9,36	

Xср.арифм. – среднее арифметическое значение тангенсов углов наклона секущей к точкам на экспериментальной зависимости. Sоткл – стандартное отклонение. Sоткл % - значение стандартного отклонения, что приведено к среднему значению тангенса угла наклона. $tg\alpha$ (2%)/ $tg\alpha$ (0%) – отношение усредненных значений тангенсов углов для образцов с различным уровнем загрязнения.

Были сделаны выводы, согласно которым значения отношения углов $tg\alpha$ (2%)/ $tg\alpha$ (0%) сохраняются относительно высокими, а зоны координатной плоскости, определяемые стандартными отклонениями, вообще не имеют пересечения. С увеличением же промежутка временного интервала отношение $tg\alpha$ (2%)/ $tg\alpha$ (0%) уменьшается, что указывает на постепенную потерю информативности параметра $tg\alpha$ при идентификации объекта.

На следующем этапе было предложено исключить из пространства признаков инерционный, при проведении измерений, диагностический параметр – перенапряжение η, который к тому же зависит от стохастических изменений на объекте, что в свою очередь и необходимо отслеживать системой мониторинга. При этом были использованы исключительно динамические параметры, которые способны оперативно получаться коммутационной системой контроля поляризационного потенциала, значительно сокращая время измерений. Пространство признаков формировалось по величинам спада потенциала согласно второй и третьей временных зон. Была построена зависимость величины падения на третьем временном интервале от величины падения на интервале втором:
φ (1мС) - φ (10мС)=f [φ (100мкС) - φ (1мС)]. При этом были получены позитивные результаты. Аналогично улучшение результатов было достигнуто посредством исключения диапазона измерений малых величин с высокой

относительной погрешностью. Результаты статистической обработки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Статистическая обработка величин наклона секущих при использовании лишь динамических показателей переходной функции поляризационного потенциала

Зона	NaCl	Xср.арифм.	Sоткл	Sоткл %	$tg\alpha$(2%)/$tg\alpha$(0%)
3/2	NaCl=0%	1,7555	0,1660	9,4572	2,06
3/2	NaCl=2%	0,8525	0,0475	5,5681	

Заключение. Таким образом, результат анализа функции спада поляризационного потенциала открывает возможность: а) оценки загрязнения бетона хлоридами и коррозионной активности метала в железобетоне, что необходимо для обеспечения эффективности катодной защиты; б) проведение ускоренной экспресс-диагностики, а также отслеживание изменений в условиях эксплуатации конструкции. Так, двукратное уменьшение спада будет свидетельствовать о двукратном уменьшении перенапряжения, что в свою очередь способно давать системе управления информацию относительно смещения стационарного потенциала арматуры, о наличии возмущающих воздействиях и переходе объекта в иное коррозийное состояние. Это же в свою очередь даёт информацию о необходимости изменения оптимальной плотности тока защиты. Перспективными представляются дальнейшие исследования в данной области, в особенности по количественной оценке загрязнения железобетона хлоридами, которые являются главным фактором агрессивности среды на многих железобетонных сооружениях. При этом диагностическая система устройства катодной защиты не требует технического усложнения, что актуально в эксплуатационных условиях на удалённом от оператора объекте.

Список литературы: **1**. Опыт применения и перспективы развития катодной защиты железобетонных транспортных сооружений / *В.А. Панченко.* – Автомобільні дороги та дорожнє будівництво. – 2000. – №59. – с. 174 – 177. **2**. Inspection qnd monitoring of reinforced concrete structures-electrochemical methods to detect corrosion / *B. Elsener, H. Wojtas, H. Bohni H.* – Insight: Non-destruct. test. And Cond. Monit. – 1994. – 36, №7, – с. 502-506. **3**. Применение метода спада потенциала после размыкания поляризующей цепи в электрохимических исследованиях. Аналитические возможности метода / *В.И. Лукьянычева, М.Г. Фомичева, В.М. Евко, В.Е. Казаринов.* – Практика противокоррозионной защиты. – 2003. – №1. – с. 31–39. **4.** Динамічна похибка при одержанні перехідного процесу спаду поляризаційного потенціалу в системі діагностики та катодного захисту залізобетону / *В.О. Панченко.* - Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Автоматика и приборостроение», №56, 2008 р. – с. 136-140.