

## АНАЛИЗ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ВОДЫ

В работе выполнен анализ существующих приборов контроля защитного потенциала ЭНВ от простых к более сложным. Установлено, что большинство известных приборов контроля защитного потенциала ЭНВ базируются на создании защитного потенциала ЭНВ, который возникает на поверхности ЭНВ вследствие прохождения внешнего тока. Проанализированы преимущества и недостатки существующих приборов контроля защитного потенциала ЭНВ с точки зрения повышения достоверности контроля и эффективности антикоррозионной защиты ЭНВ.

Ключевые слова: электрический нагреватель воды, защитный потенциал, достоверность контроля, катодная защита внешним током.

V.V. MARTYNYUK, V.V. KOTENEV

Khmelnytskyi National University

## ANALYSIS OF THE DEVICES FOR THE PROTECTION POTENTIAL CONTROL OF THE ELECTRIC WATER HEATERS

*Abstract – The paper analyzed the existing devices for the protection potential control of the electric water heater from simple to more complex. It is established that most of the existing devices for the protection potential control of the electric water heater are based on the occurrence of the protection potential by means of flowing of the outer current. The advantages and disadvantages of the existing devices for the protection potential control of the electric water heater are analyzed in terms of their usage, the control reliability and the efficiency of the corrosion protection of electric water heaters.*

*Keywords: electric water heater, protection potential, control reliability, cathodic protection of the outer current.*

### Введение

Электрические нагреватели воды (ЭНВ) являются одним из наиболее распространенных видов эмалированной бытовой нагревательной аппаратуры. По типу ЭНВ разделяют на: проточные, накопительные (емкостные) и проточно-накопительные. Конструкции и принцип действия всех емкостных ЭНВ практически одинаковы (рис. 1) [1].

ЭНВ состоят из внутреннего и наружного стальных баков, пространство между которыми заполняется теплоизоляционными материалами. Во внутренний бак встроены нагреватели воды, термостат, предохранительный клапан [1].

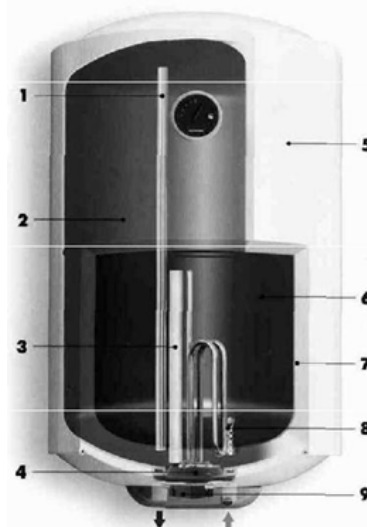
Внутренний бак изготавливают из малоуглеродистой листовой стали толщиной 1,5 – 2,0 мм, а затем покрывают защитным стеклоэмалевым покрытием [2]. При контакте стального внутреннего бака с горячей водой в местах повреждения стеклоэмалевого защитного покрытия происходит интенсивная коррозия металлической поверхности, что приводит к разрушению изделия.

Основной причиной, сокращающей срок эксплуатации емкостных ЭНВ и приводящей к выходу их из строя, является коррозия их внутренних стальных баков [3]. Стеклоэмалевое покрытие не обеспечивают полной защиты ЭНВ от коррозии, потому что в процессе их эксплуатации из-за циклических термических нагрузок могут образовываться микротрещины и другие малоразмерные дефекты [4].

Для предотвращения коррозии дефектных участков покрытия внутреннего стального бака ЭНВ (не защищенных стеклоэмалевым покрытием) используется метод катодной защиты. Причем с целью упрощения используется самая простая его реализация – протекторная защита [1].

В качестве протектора используется металл не склонный к пассивации, со значительно более отрицательным стандартным электродным потенциалом, чем защищаемый. На практике наибольшее распространение получили протекторы из магния или его сплавов. Механизм протекторной защиты состоит в следующем: магниевый протектор выполняет роль анода, а на поверхности защищаемого объекта (незащищенных участков стального бака) протекает катодный процесс восстановления кислорода [1].

Протекторная защита от коррозии ЭНВ с помощью магниевых анодов имеет существенный недостаток, который заключается в низкой ЭДС протектора, что ограничивает применение протекторов в



1 – выходная трубка для горячей воды; 2 – внутренний стальной бак со стеклоэмалевым покрытием; 3 – магниевый анод; 4 – стальной фланец, на котором смонтированы: нагревательный элемент, магниевый анод и термостат; 5 – внешний стальной бак с полимерным покрытием; 6 – стеклоэмалевое покрытие; 7 – пенополиуретановая теплоизоляция; 8 – трубка для подачи холодной воды; 9 – термостат

Рис. 1. Конструкция ЭНВ

плохо проводящих средах. Другим недостатком протекторной защиты есть безвозвратные потери металла и возможное загрязнение окружающей среды, а также трудоемкость процесса замены магниевых анодов ЭНВ, что приводит к дополнительным финансовым расходам в процессе эксплуатации ЭНВ.

Более эффективным методом коррозионной защиты ЭНВ, по сравнению с протекторной защитой, является катодная защита внешним током (КЗВТ). Часто КЗВТ применяют одновременно с нанесением защитных покрытий. Уменьшение скорости саморастворения металла при его внешней поляризации называют защитным эффектом.

Основным критерием КЗВТ является защитный потенциал, а также методы и устройства его контроля. Защитным потенциалом называется потенциал, при котором скорость растворения металла принимает предельно низкое значение, допустимое для данных условий эксплуатации [5].

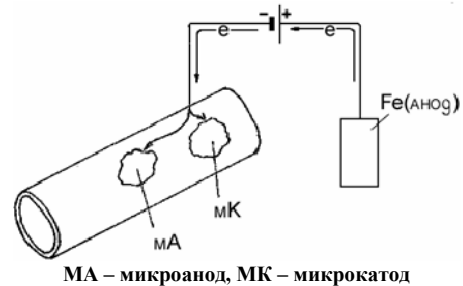
Достоверность контроля защитного потенциала КЗВТ имеет большое значение для повышения эффективности устройств антикоррозионной защиты ЭНВ. Чем выше достоверность контроля защитного потенциала КЗВТ, тем точнее устройство КЗВТ сможет поддерживать этот потенциал в процессе эксплуатации ЭНВ, а их коррозия будет минимально допустимой.

### Катодная защита внешним током

КЗВТ – это способ защиты конструкции принудительной катодной поляризацией с помощью внешнего источника постоянного тока (рис. 2) [6].

Катодная поляризация защищаемой конструкции должна осуществляться таким образом, чтобы стационарные потенциалы металла находились в пределах от -0,85 В до -1,15 В по медно-сульфатному электроду сравнения.

Отрицательный полюс внешнего источника тока подключают к защищаемой конструкции, которая выполняет роль катода. Анод электрической цепи – специальное анодное заземление, подключенное к положительному полюсу источника тока.



МА – микроанод, МК – микрокатод  
Рис. 2. Схема КЗВТ

При КЗВТ на аноде из железа идет процесс растворения анода. На микроанодах происходит подавление анодного процесса, т.е. коррозии защищаемой конструкции. Характеристикой КЗВТ является величина защитного эффекта (1) [7]:

$$Z_s = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \cdot 100\%, \tag{1}$$

где  $K_0$  – скорость коррозии металла без защиты;  
 $K_1$  – скорость коррозии металла при КЗВТ.

Источниками внешнего тока при КЗВТ служат станции катодной защиты, которые бывают регулируемые и нерегулируемые. Нерегулируемые станции катодной защиты применяются в том случае, когда изменения сопротивления в цепи тока практически отсутствуют. Указанные станции работают в режиме поддержания постоянного потенциала или тока и применяются для защиты резервуаров, хранилищ, высоковольтных кабелей в стальной броне, трубопроводов и др. Они получили название преобразователей потенциала с ручным управлением [8].

Такие системы защиты могут быть использованы, если параметры защищаемого объекта остаются стабильными во времени. Тогда задается от источника постоянная величина защитного потенциала, нерегулируемая во времени. Если параметры защищаемого объекта меняются во времени, то следует при организации КЗВТ использовать автоматические катодные станции, поддерживающие потенциал защищаемого объекта в заданном режиме [8].

Автоматические катодные станции оборудованы устройством для стабилизации заданной разности потенциалов между защищаемым объектом и землей. Структурная схема автоматической станции катодной защиты представлена на рис. 3 [8].

С помощью блока, задающего потенциал 1, устанавливается требуемый защитный потенциал. Это значение потенциала сравнивается с помощью блока сравнения 2 с потенциалом защищаемой конструкции, измеренной по отношению к тому же электроду сравнения 4 с помощью блока измерения потенциала 3. Разность потенциалов после усиления блоком усилителя 5 подается на блок управления 6, корректирующего силу поляризующего тока, идущего от выпрямителя 7.

Расчет напряжения катодной защиты выполняю по формуле (2) [7]:

$$U = \Delta E_{\sigma,a} + |\Delta E_{\kappa}| + \sum_{i=1}^n \Delta U_{R_i} + |E_{\sigma,a}^p - E_{\kappa,ор}|, \tag{2}$$

где  $\Delta E_{\sigma,a}$  – анодная поляризация вспомогательного анода;  
 $\Delta E_{\kappa}$  – катодная поляризация защищаемой конструкции, определяется как  $E_3 - E_{\kappa,ор}$  ;  
 $E_{\sigma,a}^p$  – равновесный потенциал вспомогательного анода;  
 $E_{\kappa,ор}$  – коррозионный (стационарный) потенциал металла конструкции;

$\sum_{i=1}^n \Delta U_{R_i}$  – сумма омических падений

напряжений на участках цепи катодной защиты.

$$\sum_{i=1}^n \Delta U_{R_i} = I(R_k + R_{эл} + R_{с.а} + R_{пр}), \quad (3)$$

где  $I$  – ток внешнего источника питания;

$R_k$  – сопротивление защищаемой конструкции;

$R_{эл}$  – сопротивление электролита между конструкцией и вспомогательным анодом;

$R_{с.а}$  – сопротивление вспомогательного анода;

$R_{пр}$  – сопротивление соединительных проводов.

Недостатком схемы автоматической станции катодной защиты является большая погрешность измерения вследствие влияния постоянно приложенного защитного потенциала, возникновение автоколебаний при автоматической регулировке, а также необходимость регулярной юстировки электрода сравнения и затраты на него.

Преодоление указанных недостатков схемы автоматической станции катодной защиты возможно при помощи использования катодной защиты от коррозии с потенциостатом, который работает по прерыванию [10].

Принцип действия катодной защиты от коррозии с потенциостатом, который работает по прерыванию, заключается в периодическом прерывании защитного тока. В момент прерывания анод используется в как электрод сравнения и измеряет образованный потенциал между электродом сравнения и катодом [10]. Использование прерывания защитного тока позволит исключить в схеме автоматической катодной защиты электрод сравнения, что значительно уменьшит себестоимость схемы.

Величина измеренного потенциала сравнивается с заданным значением защитного потенциала, а различие по величине этих значений будет использовано для изменения защитного тока в активной фазе. В этом случае будет достигнуто заданное значение противокоррозионного потенциала на поверхности катода и исключается нежелательное образование свободного водорода вследствие чрезмерной поляризации защищаемого объекта.

Недостатком катодной защиты от коррозии с потенциостатом, который работает по прерыванию, заключается в образовании в активной фазе на поверхности анода слоя кислорода. Образование слоя кислорода в активной фазе на поверхности анода препятствует измерению потенциала на катоде сразу же после начала прерываний. Для устранения этого недостатка применяется способ временной задержки начала измерений до приемлемого уровня снижения поверхностного кислородного заряда [10].

Экспериментальные исследования катодной защиты от коррозии с потенциостатом, который работает по прерыванию, показывают [10], что после начала прерывания измерения потенциала необходимо проводить не раньше, чем 30 мкс для достижения квази постоянного уровня напряжения на катоде. При этом время прерывания должно быть меньше, чем 10 мс.

При работе установки катодной защиты в приэлектродном слое, прилегающем к защищаемой поверхности, в результате протекания электродной реакции происходят изменения, прежде всего меняется рН приэлектродного слоя.

Изменение рН приводит к тому, что на поверхности защищаемого объекта делается возможным выпадение карбоната кальция. Образование осадков особенно заметно при эксплуатации защиты в морской воде или в жесткой пресной воде.

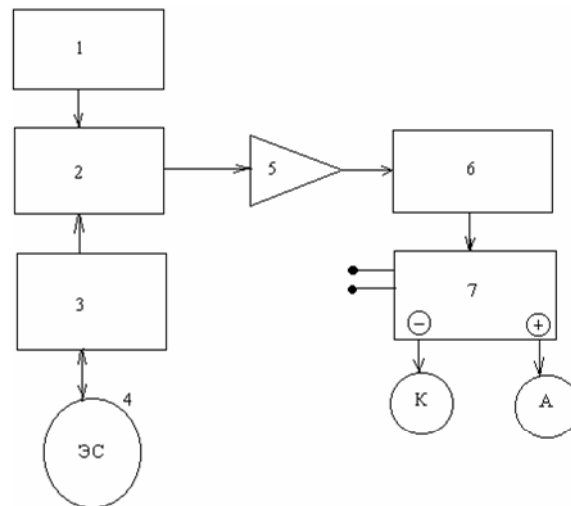
Катодные осадки карбонатов трудно растворимы и оказывают благоприятное воздействие на работу катодной станции, т.к. на оголенных участках сооружения образуется естественная хорошо прилегающая изоляционная пленка. Это ведет к уменьшению необходимого защитного тока [10].

Использование катодной защиты сопряжено с опасностью так называемой перезащиты. В этом случае вследствие слишком сильного смещения потенциала защищаемой конструкции в отрицательную сторону может резко возрасти скорость выделения водорода. Результатом этого является водородное охрупчивание или коррозионное растрескивание материалов и разрушение защитных покрытий.

#### Приборы контроля защитного потенциала ЭНВ

Приборы контроля защитного потенциала ЭНВ бывают аналоговые и цифровые. Несмотря на то, что такие приборы изготавливаются многими европейскими и американскими фирмами, достоверность контроля защитного потенциала ЭНВ этих приборов недостаточна, поэтому эффективность антикоррозионной защиты ЭНВ на сегодняшний день является также недостаточной.

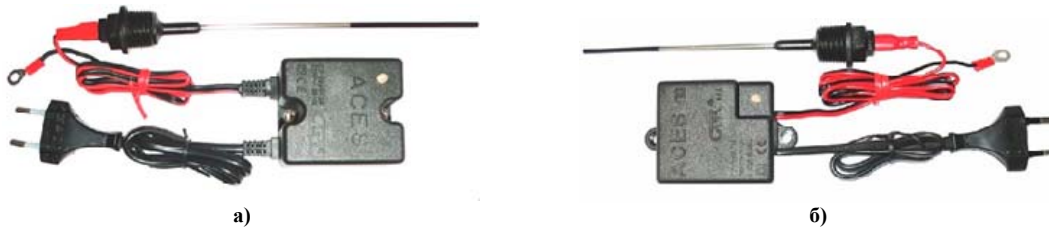
Проанализируем принцип работы и работы прибора контроля защитного потенциала ЭНВ ACES (Anti Corrosion Electronic System) итальянской компании CGR. Эта компания выпускает две разновидности



1 – блок задания потенциала; 2 – блок сравнения потенциалов; 3 – блок измерения потенциала; 4 – электрод сравнения (ЭС); 5 – блоком усилителя; 6 – блок управления; 7 – выпрямитель; А – анод; К – катод

Рис. 3. Схема автоматической станции катодной защиты от коррозии с потенциостатом

таких устройств: для котлов с эмалированным покрытием емкостью до 1000 и до 5000 литров (рис. 4).

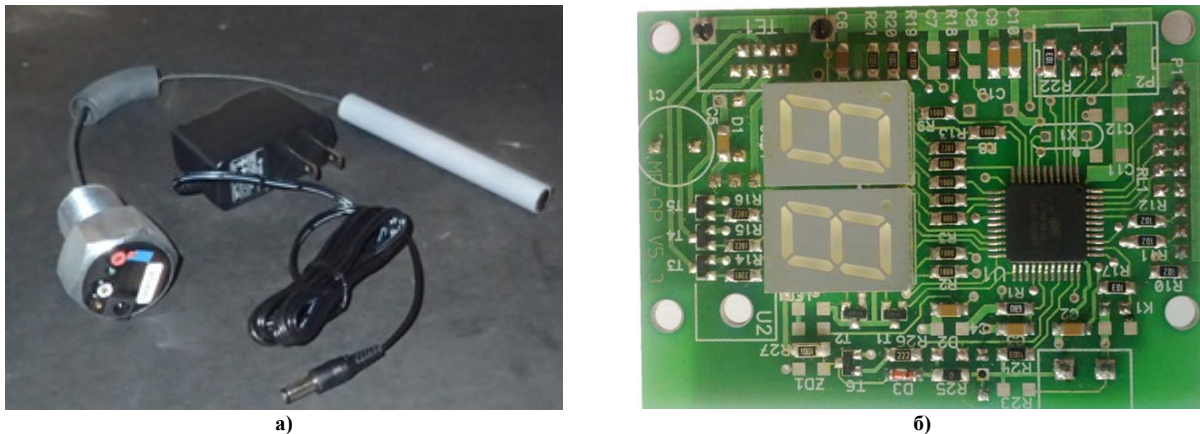


а) ACES для котлов с эмалированным покрытием емкостью до 1000 литров; б) ACES для котлов с эмалированным покрытием емкостью до 5000 литров

Рис. 4. Приборы контроля защитного потенциала ЭНВ ACES (Италия)

Катодная антикоррозийная защита ЭНВ осуществляется путем создания защитного потенциала с помощью внешнего тока. Процесс контроля потенциала обеспечивается постоянным измерением разности потенциалов котла и титанового анода. После это с помощью расчетов определяется необходимая сила внешнего тока. Такой принцип дает возможность использовать только один анод, который создает внешний ток между ЭНВ и анодом, а также определяет защитный потенциал ЭНВ.

Другими аналогичными приборами контроля защитного потенциала ЭНВ является прибор Powered Anode Standard (США) (рис. 5, а) и прибор Termotehnika (Словения) (рис. 5, б).



а) прибор Powered Anode Standard (США); б) прибор Termotehnika (Словения)

Рис. 5. Приборы контроля защитного потенциала ЭНВ Powered Anode Standard (США) и Termotehnika (Словения)

Экспериментальные исследования автором проанализированных выше приборов контроля защитного потенциала ЭНВ показывают, что их параметры и характеристики не обеспечивают эффективного контроля защитного потенциала ЭНВ. К основным недостаткам проанализированных промышленных приборов контроля защитного потенциала ЭНВ относятся:

- а) недостаточный уровень защитного потенциала ЭНВ при разных значениях проводимости воды;
- б) хаотическое управления внешним током защиты и неповторяемость результатов измерений защитного потенциала ЭНВ;
- в) выбросы переполяризации защитного потенциала ЭНВ, а также нерегулярность в его индикации.

### Выводы

Проведенный анализ приборов контроля защитного потенциала ЭНВ позволяет сделать следующие выводы:

1. Контроль защитного потенциала ЭНВ является основным фактором снижения скорости коррозии ЭНВ и продления срока их эксплуатации и имеет огромное значение для повышения экономической эффективности использования ЭНВ.
2. Повышение достоверность контроля защитного потенциала КЗВТ имеет очень важное значение для повышения эффективности устройств антикоррозионной защиты ЭНВ. Чем выше достоверность контроля защитного потенциала КЗВТ, тем точнее можно устройство КЗВТ сможет поддерживать этот потенциал в процессе эксплуатации ЭНВ, а их коррозия будет минимально допустимой.
3. Основными недостатками существующих приборов контроля защитного потенциала ЭНВ является большая погрешность измерения вследствие влияния постоянно приложенного защитного потенциала, возникновение автоколебаний при автоматической регулировке, а также необходимость регулярной юстировки электрода сравнения и затраты на него.
4. Использование прерывания защитного тока в приборах контроля защитного потенциала ЭНВ позволит исключить в схеме автоматической катодной защиты электрод сравнения, что значительно уменьшит себестоимость таких приборов.

## Література

1. Шалыгина О.В. Проблемы защиты нагревательной аппаратуры от коррозии / О.В. Шалыгина, А.Ю. Бровин, Г.И. Миронова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 2. – С. 22 – 26.
2. Брагина Л.Л. Технология эмали и защитных покрытий / Л.Л. Брагина, А.П. Зубехин, Я.И. Белый. – Х. : НТУ «ХПИ», 2003. – 484 с.
3. Брагина Л.Л. Разработка стеклоэмалевых покрытий для защиты внутренних баков электроводонагревателей / Л.Л. Брагина, О.В. Шалыгина, Я.А. Покроева // Информац. вестник ООО «УАЭ» «Стеклоэмаль и эмалирование металлов». – 2010. – № 5. – С. 61–69.
4. Авдеенко А.П. Коррозия и защита металлов : справочное пособие / А.П. Авдеенко, А.Е. Поляков, А.Л. Юсина, С.А. Гончарова. – Краматорск : ДГМА, 2004. – 112 с.
5. Сухотин А.М. Коррозионная стойкость оборудования химических производств. Коррозия под действием теплоносителей, хладагентов и рабочих тел / А.М. Сухотин, А.Ф. Богачев. – Ленинград : Химия, 1988. – 360 с.
6. Мальцева Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии : учеб. пособие / под редакцией С.Н. Виноградова. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 211 с.
7. Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования : учеб. пособие / И.М. Жарский, Н.П. Иванова, Д.В. Куис, Н.А. Свидуневич. – Минск : Высш. шк., 2012. – 303 с.
8. Экилик В.В. Теория коррозии и защиты металлов / В.В. Экилик. – Ростов : Изд-во РГУ, 2004. – 67 с.
9. H. Rickert, G. Holzäupfel, Ch. Fianda. Elektrochemische Untersuchungen zum kathodischen Korrosionsschutz mit Unterbrecherpotentiostaten, Werkstoffe und Korrosion. 1987. V. 38, Issue 11, P. 691–695.
10. Пат. 0630426 ЕС, МКИ6 C23F 13/22. Process for maintaining a cathodic protection against corrosion, and device for carrying out said process / G. Cadignani & CGR. – № 92919515 ; заявлено 12.08.92 ; опубл. 15.11.95. – 9 с.

## References

1. O.V. Shalygina, A.U. Brovin, G.I. Mironova. Problemy zaschity nagrevatelnoj apparatury ot korrozii. Visnyk Nacionalnogo tehničnogo universytetu «HPI». Kharkiv: NTU «HPI», 2011. № 2. S. 22 – 26.
2. L.L. Bragina, A.P. Zubehin, Y.I. Belyj. Tehnologiya emalej i zaschitnyh pokrytij. H.: NTU «HPI», 2003. 484 s.
3. L.L. Bragina, O.V. Shalygina, Y.A. Pokroeva. Razrabotka stekloemaljevych pokrytij dlya zaschity vnutrennih bakov elektrovodonagrevatelej. Informac. vestnik ООО «UAE» «Steloemal i emalirovanie metallov». 2010. № 5. S. 61-69.
4. A.P. Avdeenko, A.E. Polyakov, A.L. Usina, S.A. Goncharova. Korrozija i zaschita metallov: Spravochnoe posobie. Kramatorsk: DGMA, 2004. 112 s.
5. A.M. Suhotin, A.F. Bogachev. Korrozionnaya stojkost oborudovaniya himicheskix proizvodstv. Korrozija pod dejstviem teplonositelej, hladagentov i rabochih tel. Leningrad: Himiya, 1988. 360 s.
6. Malceva G.N. Korrozija i zashchita oborudovaniya ot korrozii: Uchebnoe posobie. Pod redakciey S.N. Vinogradova. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2000. 211 s.
7. I.M. Zgarskij, N.P. Ivanova, D.V. Kuis, N.A. Svidunovich. Korrozija i zashchita metallicheskih konstrukcij i oborudovaniya: Uchebnoe posobie. Minsk: Vyssh. shk., 2012. 303 s.
8. Ekilik V.V. Teotiya korrozii i zaschity metallov. Rostov: Izd-vo RGU, 2004. 67 s.
9. H. Rickert, G. Holzäupfel, Ch. Fianda. Elektrochemische Untersuchungen zum kathodischen Korrosionsschutz mit Unterbrecherpotentiostaten, Werkstoffe und Korrosion. 1987. V. 38, Issue 11, P. 691–695.
10. Pat. 0630426 ЕС, МКИ6 C23F 13/22. Process for maintaining a cathodic protection against corrosion, and device for carrying out said process. G. Cadignani & CGR. № 92919515; Date of filing: 12.08.92; Date of publication of application: 15.11.95. 9 p.

Рецензія/Peer review : 3.7.2015 р. Надрукована/Printed : 30.8.2015 р.

Рецензент: