

УДК 628.16.087:620.19+628.162.4

**С. Е. АНТОНЕНКО**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ ПАРОВЫХ И ЖАРОГАЗОТРУБНЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ С ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ВОДОПОДГОТОВКОЙ**

Рассмотрены возможности использования промышленных электролизеров при электрохимическом умягчении подпиточной воды для паровых и жарогазотрубных котлов малой мощности. Приведены особенности конструкции, схемы электролизеров, даны их технические характеристики и границы применимости.

**электрохимическое умягчение, электролизер**

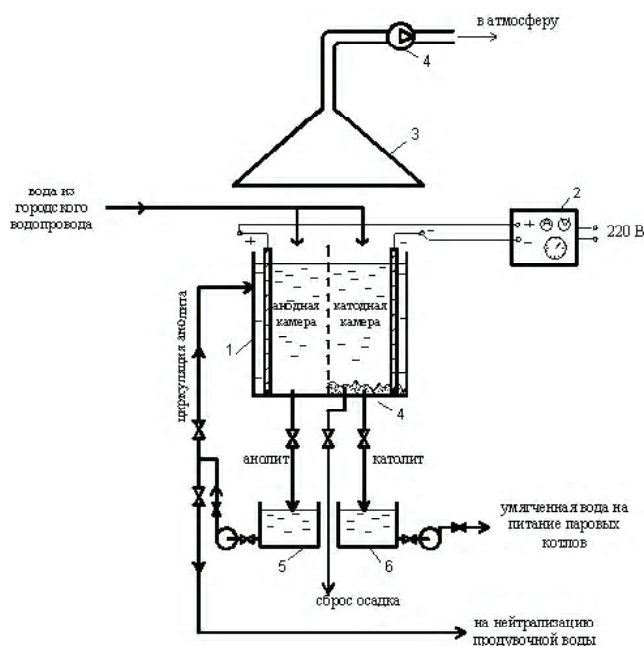
Использование электрохимического умягчения подпиточной воды для котлов малой мощности позволяет полностью отказаться от традиционного двухступенчатого натрийкатионирования [1–8]. При эксплуатации же котла без водоподготовки толщина накипи 0,5 мм достигается за срок 30 суток, после этого должна производиться химическая промывка котла с целью удаления отложений. Работа котла в течение 1 года без водоподготовки полностью выводит его из строя. При использовании электрохимически умягченной подпиточной воды срок эксплуатации до химической промывки увеличивается не меньше чем до 1 года. Электрохимическая водоподготовка рекомендуется к использованию вместо натрийкатионирования в паровых котельных небольшой мощности (до 1–2 т/ч пара). Она обеспечивает практически безнакипный режим работы котла не менее 1 года. При этом снижаются эксплуатационные затраты, отсутствуют вредные солевые стоки от водоподготовки, нет необходимости использования реагентов и устройства их складов.

### *Особенности конструкции промышленного электролизера*

В котельной вместо натрийкатионитных фильтров используется установка электрохимического умягчения с диафрагменным электролизером. В электролизер подается вода из городского водопровода. На электроды подается постоянный ток от выпрямителя  $U \leq 12$  В. Умягченная вода из катодной камеры (католит) направляется в бак питательной воды паровых котлов. Вода из анодной камеры (анолит) постоянно циркулирует через промежуточный бак. Часть анолита используется для нейтрализации продувочной воды котлов. Убыль анолита пополняется свежей водой из водопровода. Осадок карбоната кальция и гидроксида магния из катодной камеры сбрасывается в канализацию. Этот осадок не представляет экологической опасности, поскольку является практически нерастворимым в воде. Схема установки электрохимического умягчения производительностью 1 м<sup>3</sup>/ч приведена на рис. 1. Для отвода выделяющихся при электролизе газов предусматривается местный отсос в виде зонта и вентилятора.

Диафрагменный электролизер может быть двух разновидностей – периодического действия (непроточный) и непрерывного действия (проточный). Оба вида выполняются в виде бака из листовой углеродистой стали с толщиной стенок 2–3 мм, изнутри бак футерован пластиком (винипластом или полиэтиленом). Внутренние перегородки выполнены из пластика. Схема электролизера периодического действия приведена на рис. 2. Ширина и высота электролизера изнутри по 1 050 мм. Состоит он из 20 анодных и 20 катодных камер. Общий объем катодных камер составляет 1 м<sup>3</sup>, а общая длина – 3 080 мм. В каждой анодной камере установлены по 4 графитовых анода для хлорной промышленности (ТУ 48-20-86-81) размером 1 100×250×50 мм, итого 80 анодов общей площадью 20 м<sup>2</sup>. В

© С. Е. Антоненко, 2014



**Рисунок 1** – Схема установки электрохимического умягчения: 1 – диафрагменный электролизер; 2 – блок питания постоянным током (выпрямитель); 3 – зонт для отвода выделяющихся газов; 4 – вентиль; 5 – бак-анолита; 6 – бак умягченной воды (католита) для питания паровых котлов.

катодной камере установлены катоды из листовой углеродистой стали толщиной 2–3 мм, размер 1 000×1 100 мм, общая активная площадь 20 м<sup>2</sup>. на электролизер может подаваться постоянный ток силой до 300 А (при графитовых анодах). При использовании других анодов, например – окиснорудных титановых (ОРТА), количество камер может быть уменьшено до 3, соответственно длина электролизера уменьшится до 0,35 м. Ток и производительность остаются такими же – 300 А и 1 м<sup>3</sup>/ч.

Диафрагмы устраиваются из брезента или бельтинга. Продолжительность электролиза – 1 час. Затем из камер вода сливается в баки 5 и 6, катодная камера для нового цикла наполняется из водопровода, а анодная – из бака 5.

В проточном электролизере (рис. 3) вода из городского водопровода поступает в первую камеру и последовательно проходит все камеры с помощью перепускных патрубков. Анолит в таком электролизере непрерывно циркулирует через электролизер и бак анолита с помощью насоса. Преимуществом проточного электролизера является большая простота эксплуатации и несколько более высокий эффект умягчения. Основная часть накипеобразующих солей выпадает в первых камерах и осадок из них сбрасывается чаще.

Напряжение на электродах обычно составляет 3–5 В, потребляемая мощность до 1,5 кВт. Распределение тока между электродами производится с помощью электрических медных многожильных кабелей.

#### *Границы применимости*

Эффективность работы установки гарантируется при следующих параметрах системы:

- температура воды – не более 130 °С,
- общая жесткость воды – до 20 мг-экв/л,
- карбонатная жесткость – до 10 мг-экв/л,
- солеосодержание воды – не менее 150–200 мг/л,
- взвешенные вещества – до 50 мг/л,
- производительность котельной по пару – до 2 т/ч.

#### *Рекомендации по конструктивной схеме установки электрохимического умягчения*

Установка электрохимического умягчения воды представляет собой – диафрагменный электролизер, в котором подпиточная вода, подаваемая в котел, проходит обработку постоянным электрическим

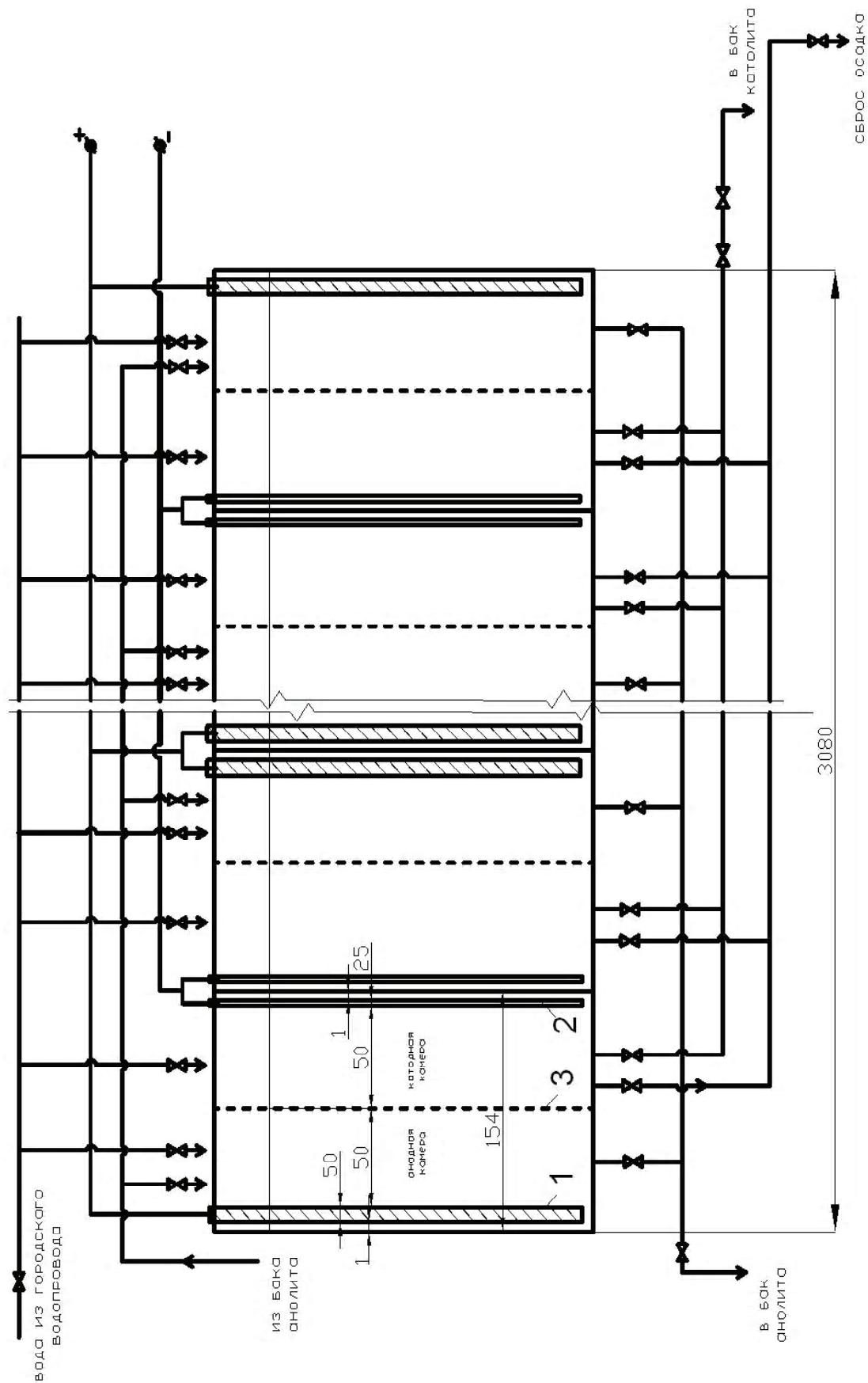


Рисунок 2 – Схема электролизера периодического действия производительностью 1 м³/ч (20 камер): 1 – анод; 2 – катод; 3 – диафрагма.

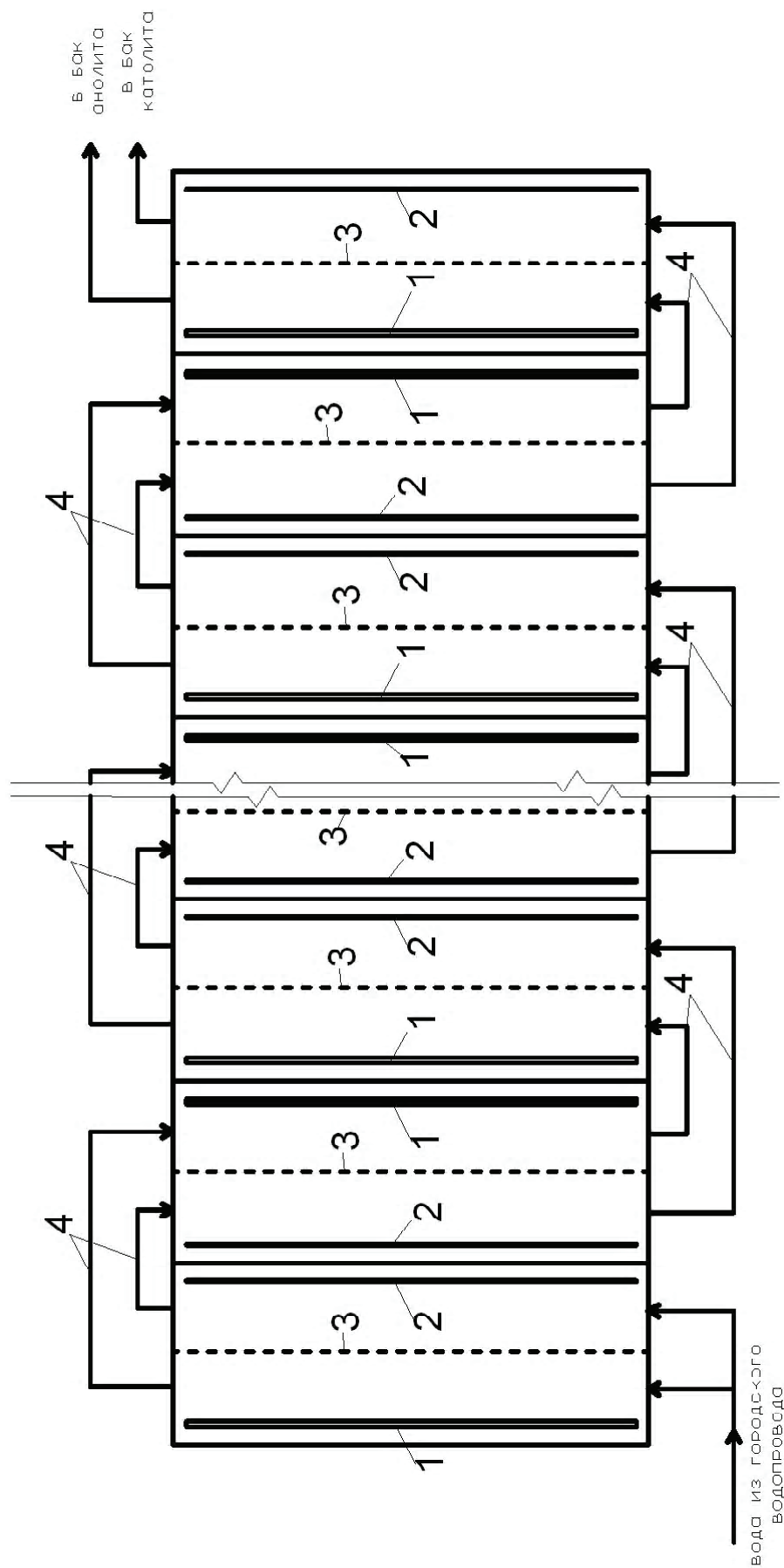


Рисунок 3 – Схема проточного электролизера: 1 – анод; 2 – катод; 3 – диафрагма; 4 – перепусковой патрубок.

током, при этом на катоде происходит образование рыхлого слоя отложений накипеобразующих солей. Кроме этого, электрическое поле стимулирует образование зародышей кристаллизации, благодаря чему накипь выделяется в основном в объеме воды, а не на поверхностях нагрева, что усиливает антинакипный эффект.

Корпус электролизера изготавливается из любой нетокопроводящей пластмассы, диафрагма из бельтинга или брезента (использование ионообменных мембран повышает эффективность установки, но существенно увеличивает капитальные затраты). Электродная система состоит из чередующихся катодов и анодов, расстояние между которыми принимается 10 см. Площадь электродов и размеры емкости зависят от производительности аппарата и показателей качества воды. Напряжение на электродах не превышает 12 В. Источником постоянного тока могут быть катодные сетевые станции типа КСС-600, КСС-1200, АРТЗ, КСГ, ТЕР или выпрямители типа ВАК, ВСА, ВАКР и т. п.

В качестве катода рекомендуется использование углеродистой стали, нержавеющей стали или титана.

В качестве анода возможно использовать:

- графитовые аноды в виде плит размером 250×50×700 (1 100) мм. Срок службы 16–20 мес. Допустимая плотность тока не более 10–15 А/м<sup>2</sup>,
- платинированный титан (ПТА). Допустимая плотность тока до 1 000 А/м<sup>2</sup>,
- окиснорутенийтитановые аноды (ОРТА). Плотность тока более 100 А/м<sup>2</sup>,
- ферросилидовые аноды (кремнистый чугун). Допустимая плотность тока до 150 А/м<sup>2</sup>.

После обработки электрическим током вода разделяется на католитную и анолитную фракции. Католит подается на подпитку котла, анолитная фаза возвращается в электролизер после смешения с водопроводной водой.

#### *Технические характеристики*

Примерные характеристики установки электрохимического умягчения производительностью 1 м<sup>3</sup>/ч при использовании исходной воды с карбонатной жесткостью до 10 мг-экв/л:

- сила тока – до 300 А,
- напряжение на электродах – до 12 В (обычно 3–5 В),
- потребляемая мощность – до 1,5 кВт,
- расход электроэнергии – ~ 0,22 кВт·ч/г-экв,
- объем электролизера – 2 м<sup>3</sup>,
- производительность установки – 1 м<sup>3</sup>/ч,
- площадь электродов (анодов и катодов) – по 20 м<sup>2</sup> (при использовании графитовых анодов).

Выход по току  $B_t$  определяем по формуле [9]:

$$B_t = 26,8 \cdot (c_0 - c_t) \cdot V_p / (I \cdot t_a),$$

где  $c_0, c_t$  – концентрация накипеобразователей до и после электрообработки (мг-экв/л),  
 $V_p$  – объем установки (м<sup>3</sup>),  
 $I$  – сила тока (А),  
 $t_a$  – время электрообработки (час).

$$B_t = 26,8 \cdot (10-4) \cdot 2 / (90 \cdot 10^{-3} \cdot 1) = 0,82.$$

Периодически, один раз в смену, из аппаратов через дренажную задвижку осуществляется сброс воды (продувка) в течение 1–2 мин, одновременно сбрасывается осадок из камер.

Периодически один раз в месяц, а также по необходимости, установка останавливается для очистки электродов от накипи. Очистка осуществляется вручную скребком с последующей промывкой электродов водой.

Вентиляция помещения должна быть принудительной и обеспечивать 6-кратный воздухообмен.

Обслуживание установки осуществляется персоналом котельной, дополнительных штатных единиц не требуется.

#### **ВЫВОД**

Использование промышленных электролизеров по предложенным схемам для умягчения подпиточной воды паровых котлов и жарогазотрубных теплогенераторов позволяет снизить капитальные и эксплуатационные затраты, при этом существенно увеличивается срок службы котлов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Найманов, А. Я. О применимости противонакипной электрообработки в водоподготовке паровых котлов [Текст] / А. Я. Найманов, С. Е. Антоненко // Вісник Донбаської державної академії будівництва. – 2000. – Вип. 2000-3(23): Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 122–123.
2. Найманов, А. Я. Электрохимическое умягчение воды [Текст] / А. Я. Найманов, С. Е. Антоненко, С. В. Островская // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2001. – Вип. 2001-2(27): Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 110–113.
3. Найманов, А. Я. Прогрессивный метод снижения накипеобразования [Текст] / А. Я. Найманов, А. А. Найманова, С. Е. Антоненко // Проблемы экологии: Общегосударственный научно-технический журнал. – Донецк: ДонНТУ, 2001. – № 1'2001. – С. 17–21.
4. Антоненко, С. Е. Снижение накипеобразования в паровых котлах [Текст] / С. Е. Антоненко // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2003. – Вип. 2003-4 (41): Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 18–22.
5. Найманов, А. Я. Подпитка газовых котлов электрохимически умягченной водой [Текст] / А. Я. Найманов, С. Е. Антоненко // 36. наук. праць Луганського національного аграрного університету «Технічні науки (будівництво)». – Луганськ: ЛНАУ, 2004. – № 32(44). – С. 63–68.
6. Найманов, А. Я. Электрохимическая технология водоподготовки для паровых котлов [Текст] / А. Я. Найманов, Н. И. Зотов, С. Е. Антоненко // Коммунальное хозяйство городов / Харьковская национальная академия городского хозяйства. – К.: «Техніка», 2004. – Вип. 58 – С. 89–94.
7. Антоненко, С. Е. Безреагентная технология водоподготовки для паровых котлов [Текст] / С. Е. Антоненко // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2005. – Вип. 2005-2(50): Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 28–33.
8. Лукьянов, А. Исследование водно-химического режима прямоточного парового котла при подпитке водой, прошедшей электрохимическую водоподготовку [Текст] / А. Лукьянов, А. Найманов, С. Антоненко // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin, 2013. – Vol. 15, No. 6. – P. 117–124.
9. Яковлев, С. В. Технология электрохимической очистки воды [Текст] / С. В. Яковлев, И. Г. Краснобородько, В. М. Рогов. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 312 с.

Получено 03.09.2014

С. Є. АНТОНЕНКО

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ ПАРОВИХ І  
ЖАРОГАЗОТРУБНИХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ З  
ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЮ ВОДОПІДГОТОВКОЮ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуто можливості використання промислових електролізерів при електрохімічному зм'якшенні підживлювальної води для парових і жарогазотрубних котлів малої потужності. Наведені особливості конструкції, схеми електролізерів, їхні технічні характеристики та границі застосовності.  
**електрохімічне зм'якшення, електролізер**

SVETLANA ANTONENKO

PRACTICAL REALIZATION OF RESULTS OF THE WORK STEAM AND FIRE-  
GAS-TUBE HEAT GENERATORS OF LOW POWER WITH  
ELECTROCHEMICAL WATER TREATMENT  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The possibilities of using industrial electrolyzers for electrochemical softening of make-up water for steam and fire-gas-tube boilers of low power have been considered. The features of the design, scheme of electrolyzes have been given, their technical characteristics and the limits of applicability have been also given.  
**electrochemical softening, electrolyzer**

**Антоненко Світлана Євгенівна** – кандидат технічних наук, асистент кафедри міського будівництва та господарства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: електрохімічне зм'якшення води, нові матеріали і устаткування при проектуванні систем опалення.

**Антоненко Светлана Евгеньевна** – кандидат технических наук, ассистент кафедры городского строительства и хозяйства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: электрохимическое умягчение воды, новые материалы и оборудование при проектировании систем отопления.

**Antonenko Svetlana** – PhD in Engineering, Assistant, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: electrochemical softening waters, new materials and the equipment at designing of systems of heating.