



УДК 697.34:628.16.087

**А. Г. КОЧЕВ**, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой теплогазоснабжения; **М. М. СОКОЛОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения; **К. С. ЛЕВОНЧУК**, аспирант кафедры теплогазоснабжения; **Ф. А. ТИМОШКИН**, аспирант кафедры теплогазоснабжения

## **АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СПОСОБА ПОДГОТОВКИ СЕТЕВОЙ ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-45-35;  
факс: (831)430-03-82; эл. почта: kochev.1961@mail.ru

*Ключевые слова:* теплоснабжение, качество теплоносителя, коррозионная активность воды, водоподготовка, электрохимический способ водоподготовки.

---

*Приводятся данные и результаты, полученные в ходе проведения ряда экспериментов на воде городского забора (Россия, Нижегородская обл., г. Дзержинск). Целью проведения экспериментов являлся анализ изменения контролируемых параметров воды для выявления эффективности способа водоподготовки*

---

Согласно отчету о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2021 году, опубликованном ФГБУ «РЭА» Минэнерго России [1], общее число аварий на источниках теплоснабжения и теплотрассах в 2021 г. по отношению к 2020 г. увеличилось на 358 единиц (или на 8 %). Несмотря на то, что более долгосрочный прогресс (общее снижение числа аварий за последние 6 лет на 655 ед.) имеет положительный вектор, эта проблема остается актуальной.

При рассмотрении вопроса оптимизации теплоэнергетической отрасли чаще ставится задача модернизации основного оборудования, а именно: непосредственно самого теплогенерирующего оборудования и тепловых сетей. Однако не менее значимым фактором увеличения срока службы и повышения надежности всего теплотехнического оборудования является качество теплоносителя.

Физико-химические процессы, происходящие в котлоагрегатах, теплообменниках, водоподогревателях и тепловых сетях способствуют образованию на поверхностях нагрева плотных отложений накипи, которые способствуют уменьшению теплопередачи материалов вследствие достаточно низкого коэффициента теплопроводности накипных (коррозионных) отложений (примерно в 45–75 раз ниже, чем у стали) [2]. Это ведет к неизбежному увеличению расхода топлива (согласно [3], отложения толщиной 1 мм повышают расход условного топлива до 8 %), и, соответственно, к увеличению затрат на производство теплоты в целом. Более того, под слоем накипи и высоких температур происходит расширение металла, приводящее к появлению трещин, мест «вздутия» и деформированных участков, способствующих возникновению аварийных ситуаций [4].

Таким образом, использование теплоносителя удовлетворительного качества во всем цикле производства теплоты несет за собой экономическую



(увеличение срока службы и уменьшение числа отказов оборудования, уменьшение расхода топлива) и экологическую (оптимизация использования топливных ресурсов, уменьшение негативного влияния на окружающую среду) выгоды [5]. Для достижения этого необходимо применение систем водоподготовки, различные варианты которых активно изучаются в России с начала 60-х годов XX в. [6, 7, 8]. Можно выделить следующие основные направления водоподготовки для теплоэнергетической отрасли:

- ионообменный способ водоподготовки (наиболее часто встречающийся на практике);
- химический способ водоподготовки;
- комплексонатный способ водоподготовки;
- физический и физико-химические способы водоподготовки.

Первые три способа водоподготовки происходят за счет использования химических реагентов, утилизация отходов от которых является нерешенной задачей и влечет за собой значимый экологический вред для окружающей среды, а также финансовые последствия для компаний, заключающиеся в выплате за сброс загрязняющих веществ на постоянной основе. Поэтому данная работа затрагивает оставшийся способ водоподготовки, а именно одну из его вариаций – электрохимический способ водоподготовки сетевой воды. Основой электрохимического способа водоподготовки является изменение pH воды путем образования у электрода микрочастиц карбоната кальция и осаждения на нем укрупненных частиц солей жесткости [9].

Электрохимический способ водоподготовки реализован в электрохимических аппаратах типа АЭ-А ООО «Азов» (Нижегородская обл., г. Дзержинск) [10, 11]. В корпусе аппарата располагается анод, выполненный из графитированного токопроводящего материала, и катод, выполненный из недеформируемой стальной пластины.



Рис. 1. Электрохимический аппарат типа АЭ-А (ООО «Азов»)



Для проведения анализа коррозионной активности воды с использованием электрохимического аппарата типа АЭ-А в лаборатории ООО «Азов» была собрана модельная установка, представляющая собой узел нагрева циркулирующей воды, узел водоподготовки, узел подпитки системы и расходный узел (узел сброса). Данные узлы были сконструированы из расчета того, что они, как правило, используются на теплоэнергетических объектах.

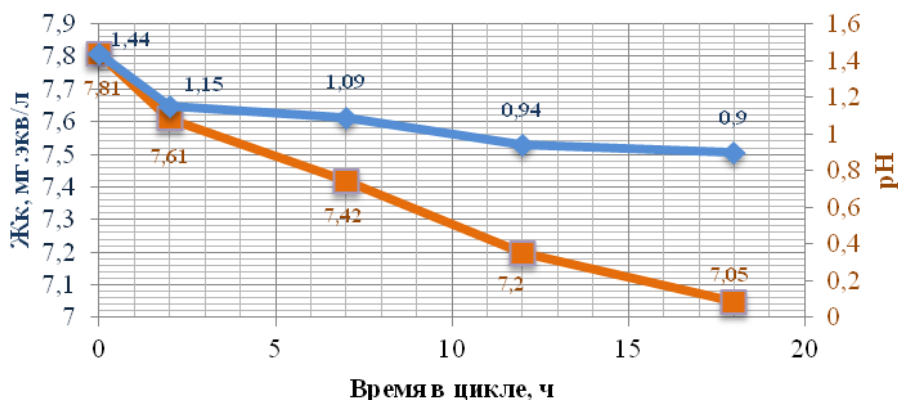
Принцип работы установки заключается в следующем: подпиточная вода поступает в термостат, где нагревается нагревательным элементом до установленной температуры (40–50 °С, так как именно в этом температурном интервале наблюдается наибольшая коррозионная активность), затем проходит через фильтр грубой очистки и коллектор (в который вводится в герметичном варианте измерительный электрод коррозиметра «Эксперт-004»), установленные на линии всасывания циркуляционного насоса; на напорной линии устанавливаются счетчик объемного расхода воды и электрохимический анти накипный аппарат производства ООО «Азов».

Эксперимент проводился на воде городского водозабора г. Дзержинск (Нижегородская обл.). Длительность проведения составила 15 часов. Для предотвращения резкого снижения карбонатной жесткости из системы выводился 1 литр сетевой воды, и, соответственно, вводился 1 литр подпиточной (всего было подано 5–6 литров подпиточной воды). В процессе проведения цикла интервал аналитического контроля и снятия показаний составлял 4–5 часов. Результаты эксперимента сведены в табл. 1 и представлены на рис. 2, 3, 4.

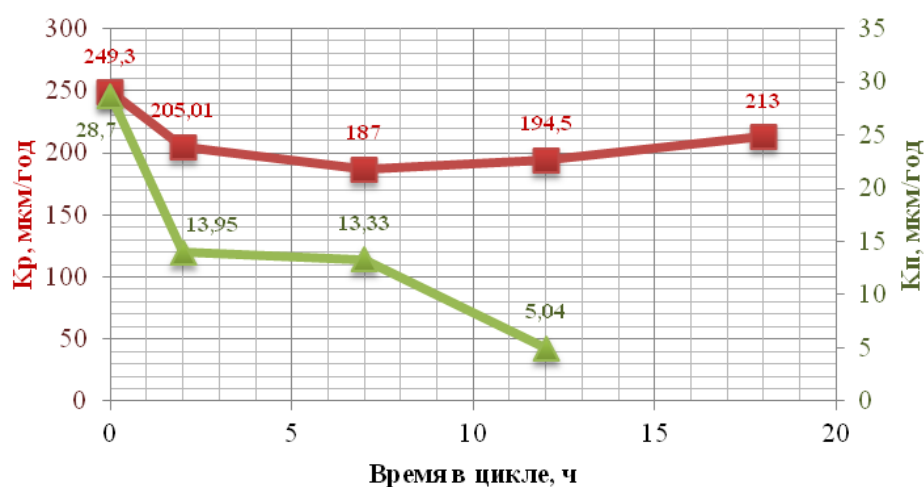
Таблица 1

**Показатели коррозионной активности воды на приборе «Эксперт-004»**

Номер объекта	Объект исследования	Время в цикле, ч	Объем обработанной воды в аппарате, м <sup>3</sup>	Показатели сетевой воды		Коррозионная активность	
				рН	Ж <sub>к</sub> , мг.экв/л	К <sub>р</sub> , мкм/год	К <sub>п</sub> , мкм/год
1	Исходная сетевая вода	0	0,0	7,81	1,44	249,30	28,70
2	Сетевая вода	2	1,2	7,61	1,15	205,01	13,95
3	Сетевая вода	7	4,2	7,42	1,09	187,00	13,33
4	Сетевая вода	12	7,2	7,20	0,94	194,50	5,04
5	Сетевая вода	18	10,8	7,05	0,90	213,00	-



а



б

Рис. 2. Изменение контролируемых параметров в ходе проведения эксперимента: а – показатели сетевой воды; б – показатели коррозионной активности на поверхности труб

Из полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Содержание солей жесткости в сетевой воде снижается в процессе всего хода испытания.
2. Происходит снижение питтинговой коррозии в ходе всего испытания.
3. Происходит заметное снижение коррозионной активности исходной воды уже после 1-2 часов ее обработки в цикле. Однако при значениях pH в интервале 7,2–7,4 коррозионная активность начинает вновь возрастать. Известно, что ионы кальция (магния) являются ингибиторами коррозии, а исследования проводились при низком их содержании в исходной воде.

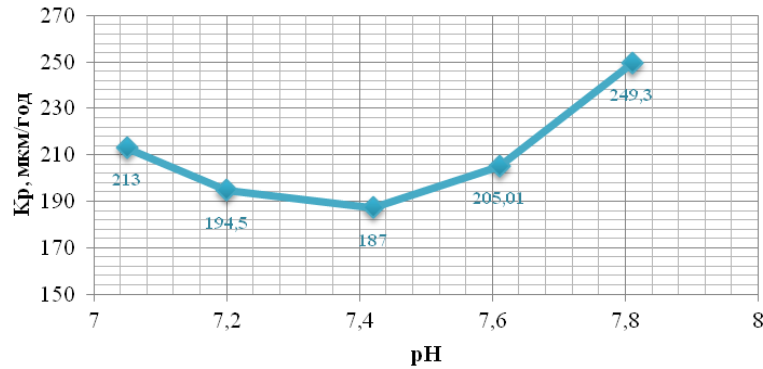


Рис. 3. График зависимости равномерной коррозии исходной и обработанной сетевой воды от показателя pH

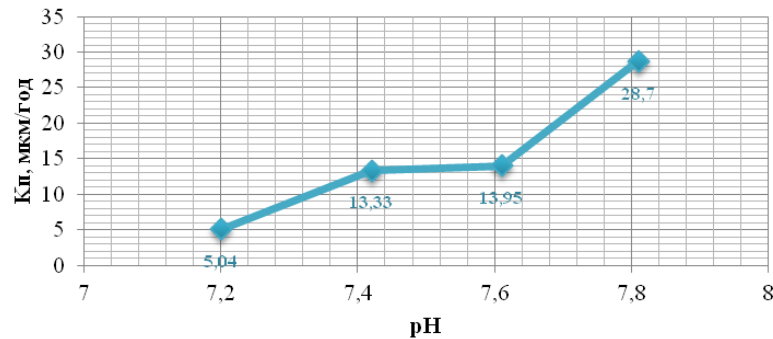


Рис. 4. График зависимости питтинговой коррозии исходной и обработанной сетевой воды от показателя pH

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отчет о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2021 году / Российское энергетическое агентство Минэнерго России. – URL: <https://rosenergo.gov.ru/> (дата обращения: 01.10.2023). – Текст : электронный.
2. Галковский, В. А. Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности / В. А. Галковский, М. В. Чупова. – Текст : электронный // Наукоеведение : интернет-журнал. – 2017. – № 2, Том 9. – С. 61–68. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN217.pdf>.
3. Щелоков, Я. М. Технологическая культура: проблемы и возможности / Я. М. Щелоков. – Текст : непосредственный // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 9. – С. 47–48.
4. Николаевский, Н. Н. Ультразвуковой метод предотвращения накипеобразования / Н. Н. Николаевский. – Текст : непосредственный // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 10(26). – С. 44–45.
5. Банников, В. В. Проблемы накипи и энергосбережения / В. В. Банников. – Текст : непосредственный // Энергосбережение. – 2005. – № 3. – С. 59–60.
6. Бушуев, Е. Н. Анализ современных технологий водоподготовки на ТЭС / Е. Н. Бушуев, Н. А. Еремина, А. В. Жадан. – Текст : непосредственный // Вестник ИГЭУ. – 2013. – № 1. – С. 8–14.



7. Федоров, С. А. Магнитные и электронные ингибиторы накипи / С. А. Федоров. – Текст : непосредственный // Главный энергетик. – 2008. – № 4. – С. 59–62.
8. Кочева, М. А., Анализ различных методов обработки воды / М. А. Кочева, Т. А. Косатова. – Текст : непосредственный // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 6. – С. 23–25.
9. Хохрякова, Е. Н. Водоподготовка : справочник / Е. Н. Хохрякова, Я. Е. Резник ; под редакцией С. Е. Беликова. – Москва : Аква-Терм, 2007. – 240 с. – ISBN 5-902561-09-4. – Текст : непосредственный.
10. Казимиров, Е. К., Теоретические и практические аспекты использования электрохимического антинакипного способа водоподготовки / Е. К. Казимиров, О. Е. Казимиров. – Текст : непосредственный // Новости теплоснабжения. – 2007. – № 5(81). – С. 41–45.
11. Казимиров, О. Е. Эксплуатационные проблемы ГВС в ИТП (ЦТП) и их рациональное решение / О. Е. Казимиров, Е. К. Казимиров, Р. Ш. Хуснутдинов. – Текст : непосредственный // Сантехника: водоснабжение и инженерные системы. – 2021. – № 4. – С. 52–55.

**KOCHEV** *Aleksey Gennadievich*, corresponding member of RAASN, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of heat and gas supply systems; **SOKOLOV** *Mikhail Mikhailovich*, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat and gas supply systems; **LEVONCHUK** *Kseniya Sergeevna*, postgraduate student of the chair of heat and gas supply systems; **TIMOSHKIN** *Fyodor Aleksandrovich*, postgraduate student of the chair of heat and gas supply systems

#### **ANALYSIS OF THE ELECTROCHEMICAL METHOD OF NETWORK WATER PREPARATION FOR HEAT SUPPLY SYSTEMS**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Pjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 433-45-35;  
fax:+7(831)430-03-82; e-mail: kochev.1961@mail.ru  
*Key words:* heat supply, coolant quality, water corrosion activity, water treatment, electrochemical method of water treatment.

---

*The article presents the data and the results obtained during a series of experiments on urban water withdrawal (Russia, Nizhny Novgorod region, Dzerzhinsk). The purpose of the experiments was to analyze changes in controlled water parameters to identify the effectiveness of the water treatment method.*

---

#### REFERENCES

1. Otchet o sostoyanii teploenergetiki i centralizovannogo teplo-snabzheniya v Rossiiskoy Federatsii v 2021 godu [Status report of the state of thermal power engineering and centralized heat supply in the Russian Federation in 2021]. Rossiiskoe energeticheskoe agentstvo Minenergo Rossii [Russian Energy Agency of the Ministry of Energy of the Russian Federation] – URL: <https://rosenergo.gov.ru/> (accessed: 01.10.2023).
2. Galkovsky V. A., Chupova M. V. Analiz snizheniya koefficienta teploperedachi teploobmennikh apparatov vsledstvie zagryazneniya poverhnosti [Analysis of the decrease in the heat transfer coefficient of heat exchangers due to surface contamination]. *Naukovedenie*, [Science Studies]. 2017, № 2. Vol. 9. P. 61–68.



3. Shchelokov Y. M. Tehnologicheskaya kultura: problemi i vozmojnosti [Technological culture: problems and opportunities]. *Novosti teplosnabzheniya* [News of heat supply]. 2002, № 9. P. 47–48.
4. Nikolaevskiy N. N. Ultrazvukovoy metod predotvrascheniya nakipeobrazovaniya [Ultrasonic method of preventing scale formation]. *Novosti teplosnabzheniya* [News of Heat supply]. 2002, № 10(26). P. 44–45.
5. Bannikov V. V. Problemi nakipi i energosberezheniya [Problems of scale and energy saving]. *Energosnabzhenie* [Energy supply]. 2005. № 3. P. 59–60.
6. Bushuev E. N., Eremina N. A., Zhadan A. V. Analiz sovremennikh tehnologiy vodopodgotovki na TES [Analysis of modern water treatment technologies at thermal power plants]. *Vestnik Ivanovskogo gos. energetich. un-ta* [Vestnik IGEU]. 2013. № 1. P. 8–14.
7. Fedorov S. A. Magnitnie i elektronnie ingibitori nakipi [Magnetic and electronic scale inhibitors]. *Glavny energetik* [Chief power engineer]. 2008. № 4. P. 59–62.
8. Kocheva M. A., Usatova T. A. Analiz razlichnikh metodov obrabotki void [Analysis of various methods of water treatment]. *Sovremennie naukoemkie tehnologii* [Modern high-tech technologies]. 2015. № 6. P. 23–25.
9. Khokhryakova E. N., Reznik Ya. E. Vodopodgotovka [Water treatment] *Spravochnik pod redaktsiyey S.E. Belikova*. Moscow, Akva-Term, 2007, 240 p.
10. Kazimirov E. K., Kazimirov O. E. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty ispolzovaniya elektrohimicheskogo antinakipnogo sposoba vodopodgotovki [Theoretical and practical aspects of using the electrochemical anti-scale method of water treatment]. *Novosti teplosnabzheniya* [News of Heat supply]. 2007, № 5(81). P. 41–45.
11. Kazimirov O. E., Kazimirov E. K., Khusnutdinov R. S. Eksploatatsionnye problemy GVS v ITP (TSTP) i ikh ratsionalnoe reshenie [Operational problems of DHW in ITP (TsTP) and their rational solution]. *Santehnika: vodosnabzheniye i inzhenernye sistemy* [Plumbing: water supply and engineering systems]. 2021, № 4. P. 52–55.

© А. Г. Кочев, М. М. Соколов, К. С. Левончук, Ф. А. Тимошкин, 2024

Получено: 24.05.2024 г.