

Главный редактор  
Е.М. МАРЧЕНКО

РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ

В.С. АГАБАБОВ  
Р.А. АМЕРХАНОВ  
А.В. АНДРЮШИН  
Ю.В. БАЛАБАН-ИРМЕНИН  
В.Д. БУРОВ  
Б.Х. ГАЙТОВ  
Л.Г. ВАСИНА  
М.Х.-Г. ИБРАГИМОВ  
В.И. КОРМИЛИЦЫН  
В.В. КУЛИЧИХИН  
Б.М. ЛАРИН  
В.И. ЛЕЛЕКОВ  
С.И. МАГИД  
М.Е. МАРЧЕНКО  
Е.Е. НОВГОРОДСКИЙ  
А.Б. ПЕРМЯКОВ  
В.И. РАЧКОВ  
А.С. СЕДЛОВ  
В.П. СПИРИДОНОВ  
Б.Г. ТУВАЛЬБАЕВ  
Л.А. ХОМЕНКО  
В.И. ШАРАПОВ  
Е.Б. ЮРЧЕВСКИЙ

Учредитель:  
ООО «ЭНИВ»

Издается в интересах  
и на средства подписчиков.

Журнал зарегистрирован  
Государственным Комитетом  
Российской Федерации по печати.  
Свидетельство № 016042  
от 30 апреля 1997 г.  
Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС77-44018  
от 01 марта 2011 г.

**Подписные индексы**

**42815 - Объединенный  
каталог «Пресса России»**

**20142 - Каталог «Роспечать»**

**Почтовый адрес редакции:**

107241, г. Москва,  
а/я 35, ООО «ЭНИВ»

Телефон (495) 504-7503

E-mail: eniv2013@gmail.com  
info@energija.ru  
www.energija.ru  
www.enivpress.jimdo.com

Подписано в печать

20.02.2015

Тираж 1200 экз.

Отпечатано в типографии  
Onebook.ru

ООО «Сам Полиграфист»  
г. Москва, Протопоповский пер., 6

Свободная цена

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 1997 года

# ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОДОПОДГОТОВКА

№ 1 (93)

2015, февраль

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ, ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И АГРЕГАТЫ.....</b>	<b>3</b>
<b>Полевич А.Н.</b> Результаты экспериментальных исследований метода паро-химической очистки внутренних поверхностей котельных труб от эксплуатационных отложений на полупромышленном стенде ВТИ.....	3
<b>Мальханов В.П., Мальханов О.В., Хедье Х.А., Аббаси Р.А., Мохаммади Тодешки Х.А.</b> Опытные промышленные испытания энергосберегающего турбодетандерного агрегата.....	7
<b>Мурманский Б.Е.</b> Повышение надежности работы систем парораспределения турбин в условиях эксплуатации.....	10
<b>Кукушкин А.Н., Омельчук В.В., Вагнер Р.</b> Состояние разработок и промышленное внедрение технологии консервации пароводяного контура блоков АЭС с ВВЭР на основе использования пленкообразующего амина.....	13
<b>ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....</b>	<b>17</b>
<b>Черкасов А.С., Куртукова Л.В., Сомин В.А., Комарова Л.Ф.</b> Совершенствование системы водоподготовки предприятия путем внедрения новых композитных сорбентов.....	17
<b>Губонина З.И., Тарчигина Н.Ф., Харичев О.Е.</b> Изучение возможности использования модифицированной цеолитовой породы в технологии очистки природных вод от фторид-ионов.....	21
<b>Ильин О.В., Попов Е.А., Ильин В.К.</b> Оптимизация бесконтактного метода потерь для контроля качества технической воды с помощью двухканального трансформаторного преобразователя.....	26
<b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ.....</b>	<b>30</b>
<b>Шатров А.Ф., Сапунов О.Г., Кулагин А.А., Немировский С.Ю.</b> Комбинированная система теплоснабжения объектов, расположенных в районах со сложными климатическими условиями.....	30
<b>ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА.....</b>	<b>33</b>
<b>Казakov А.В., Долгов С.В.</b> Низкотемпературная каталитическая конверсия углеродосодержащих материалов.....	33
<b>Хубатхузин А.А., Абдуллин И.Ш., Гафаров И.Г., Христолюбова В.И.</b> Высокочастотная плазма пониженного давления в энергосберегающих технологиях обработки поверхности металлов.....	37
<b>Самарин О.Д.</b> Расчет остывания воды в теплопроводах с учетом особенностей их поверхности теплоотдачи.....	42
<b>ЭЛЕКТРОТЕХНИКА.....</b>	<b>45</b>
<b>Голубович А.И., Сафонов А.С.</b> Оценка надежности электромеханических систем при малом объеме выборки.....	45
<b>ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ.....</b>	<b>49</b>
<b>Семенова И.В., Симонова С.В.</b> Рентгенографическое исследование осадков, образующихся при обработке воды щелочными композитами.....	49
<b>Дрон Ю.И., Балмаев Б.Г.</b> Аналитический расчет системы регулирования мощности теплоотдачи навесного конвектора отопления с пластинчатыми ребрами охлаждения.....	53
<b>Очков В.Ф., Устюжанин Е.Е., Чжо Ко Ко, Волощук В.А.</b> Информационно-инженерная поддержка энергосбережения и энергоэффективности.....	57
<b>ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ.....</b>	<b>62</b>
<b>Мелинова Л.В., Подберезный В.Л., Седлов А.С., Каверин А.А., Шипилов Ю.В.</b> Энергосбережение и экологическая безопасность водоснабжения Крыма.....	62
<b>ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НАРОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ.....</b>	<b>70</b>
<b>Губонина З.И., Цветкова А.С., Барелко М.Л.</b> Оценка профессиональной пригодности операторов.....	70
<b>ИНФОРМАЦИЯ.....</b>	<b>75</b>
<b>ЮБИЛЕИ.....</b>	<b>77</b>
<b>СТРАНИЦА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА.....</b>	<b>78</b>
<b>ЛИТЕРАТУРНАЯ СТРАНИЦА.....</b>	<b>80</b>

**Editor-in-chief**  
E.M. MARCHENKO

**EDITORIAL  
BOARD**

V.S. AGABABOV  
R.A. AMERKhanOV  
A.V. ANDRYuShIN  
Yu.V. BALABAN-IRMENIN  
V.D. BUROV  
B.Kh. GAITOV  
L.G. VASINA  
M.Kh.-G. IBRAGIMOV  
V.I. KORMILITsYN  
V.V. KULIchKhIN  
B.M. LARIN  
V.I. LELEKOV  
S.I. MAGID  
M.E. MARCHENKO  
E.E. NOVGORODSKII  
A.B. PERMYaKOV  
V.I. RACHKOV  
A.S. SEDLOV  
V.P. SPIRIDONOV  
B.G. TUVAL"BAEV  
L.A. KHOMENOK  
V.I. SHARAPOV  
E.B. YURChEVSKII

**Founder:**  
LLC «ENIV»

*The magazine is issued in interests  
and on money of followers.*

*The magazine is registered  
State Committee*

*The Russian Federation on the press.  
Certificate No. 016042  
of April 30, 1997.*

*Certificate on a re-registration of  
PI No. FS77-44018  
of March 01, 2011.*

**Subscription indexes**

**42815 - United  
catalogue "Press of Russia"  
20142 - Catalogue "Rospechat"**

**Post address of Editorial Board:**

**107241, Moscow,  
P.O.Box 35, 000 "ENIV"**

Phone +7-495-504-7503

E-mail: eniv2013@gmail.com  
info@energija.ru  
www.energija.ru  
www.enivpress.jimdo.com

Signed  
20.02.2015  
The 1200 copies

It is printed in Printing houses  
Onebook.ru  
LLC «Sam Poligrafist»  
6 Protopopovskii per., Moscow

SCIENTIFIC-TECHNICAL MAGAZINE

Published since 1997

# **ENERGYSAVING AND WATERTREATMENT**

**No. 1 (93)**

**2015, February**

## **CONTENTS**

<b>STEAM POWER PLANTS, THEIR POWER SYSTEMS AND UNITS.....</b>	<b>3</b>
<b>Polevich A.N.</b> The results of experimental studies of the method of steam-chemical cleaning of internal surfaces boiler pipes from deposits on the VTI semi-industrial stand for the experimental researches.....	3
<b>Malkhanov V.P., Malkhanov O.V., Hedieh H.A., Abbasi R.A., Mohammadi Todeshki H.A.</b> Trial-commercial tests of the energy-saving turbine-expander unit.....	7
<b>Murmanskii B.E.</b> Increase of reliability of work of systems of steam distribution of turbines under operating conditions.....	10
<b>Kukushkin A.N., Omel'chuk V.V., Wagner R.</b> The research work condition and industrial application conservation technology of vapor-water cycle of VVER nuclear power station using surface active amine.....	13
<b>WATER TREATMENT AND WATER TREATMENT EQUIPMENT.....</b>	<b>17</b>
<b>Cherkasov A.S., Kurtukova L.V., Somin V.A., Komarova L.F.</b> The improvement of the water treatment system for a factory through the implementation of new composite sorbents.....	17
<b>Gubonina Z.I., Tarchigina N.F., Kharichev O.E.</b> Explore the use of a modified zeolite material in natural water purification technology of fluorine ions.....	21
<b>Il'in O.V., Popov E.A., Il'in V.K.</b> The optimization of noncontact conductometry technique for water quality control by using dual-channel transformer transducer.....	26
<b>ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES.....</b>	<b>30</b>
<b>Shatrov A.F., Sapunov O.G., Kulagin A.A., Nemirovskii S.Yu.</b> The combined system of heat supply of the objects located in areas with difficult climatic conditions.....	30
<b>INDUSTRIAL HEATPOWER SYSTEMS.....</b>	<b>33</b>
<b>Kazakov A.V., Dolgov S.V.</b> Low-temperature catalytic conversion of carbon-containing materials.....	33
<b>Khubatkhuzin A.A., Abdullin I.Sh., Gafarov I.G., Khristolyuboba V.I.</b> High frequency plasma of reduced pressure in the energy-saving technologies treatment of metal surfaces.....	37
<b>Samarin O.D.</b> Calculation of water cooling in heat supply pipes at the account of peculiarities of their external heat exchange.....	42
<b>ELECTRIC APPLIANCES.....</b>	<b>45</b>
<b>Golubovich A.I., Safonov A.S.</b> Assessment of reliability of electromechanical systems at the small volume of selection.....	45
<b>RESEARCH, DESIGN, CALCULATIONS.....</b>	<b>49</b>
<b>Semenova I.V., Simonova S.V.</b> X-ray radiographic studies of sludge in water treatment by alkaline composite.....	49
<b>Dron Yu.I., Balmaev B.G.</b> Analytical calculation of system of regulation of power of the mounted heating convector with cooling ribs plate.....	53
<b>Ochkov V.F., Ustyuzhanin E.E., Chzho Ko Ko, Voloshchuk V.A.</b> Information and engineering support of energy saving and energy efficiency.....	57
<b>ENVIRONMENTAL ISSUES.....</b>	<b>62</b>
<b>Melinova L.V., Podbereznyi V.L., Sedlov A.S., Kaverin A.A., Shipilov Yu.V.</b> Energy and environmental safety supply of Crimea.....	62
<b>ECONOMICS AND MANAGEMENT OF NATIONAL ECONOMY.....</b>	<b>70</b>
<b>Gubonina Z.I., Tsvetkova A.S., Barelko M.L.</b> Assessment of professional suitability of operators.....	70
<b>INFORMATION.....</b>	<b>75</b>
<b>JUBILEE.....</b>	<b>77</b>
<b>PAGE OF EDITOR-IN-CHIEF.....</b>	<b>78</b>
<b>LITERARY PAGE.....</b>	<b>80</b>

## ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ, ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И АГРЕГАТЫ

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДА ПАРО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОТЕЛЬНЫХ ТРУБ ОТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПОЛУПРОМЫШЛЕННОМ СТЕНДЕ ВТИ

А.Н. ПОЛЕВИЧ, к.т.н.

ОАО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»), 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, 14

**Аннотация.** В результате накопленного опыта предварительных экспериментальных исследований и практической реализации метода паро-химической очистки (ПХО), как этапа комбинированного метода, был разработан проект и выполнен монтаж полупромышленного стенда. Пар от ТЭЦ по трубопроводу через пароохладитель поступает на экспериментальную часть стенда с фланцевыми катушечными вставками. Образцы во вставках имитируют участки очищаемого тракта котла. Установлено, что практическая реализация метода обеспечит: значительное снижение материальных затрат на подготовку схемы очистки; уменьшение количества используемых химических реагентов; снижение остаточной загрязненности котельных труб до нормативно установленной величины; сокращение объема отработанных водно-химических стоков.

**Ключевые слова:** паро-химическая очистка котельных труб, промышленный стенд, паровой котел, тепловая электрическая станция.

На основании [1-4] установлено:

- оптимальной температурой паро-химической среды (ПХС) на основе композиции солей ЭДТК является интервал  $180 \pm 220$  °С;
- при правильном подборе величины рН паро-химической среды удаляется весь спектр эксплуатационных отложений.

Принципиальная схема полупромышленного стенда ПХО представлена на рис.1 [5,6].

Пар от ТЭЦ-ВТИ по трубопроводу Ду20 через пароохладитель поступает на экспериментальную часть стенда Ду65 с фланцевыми катушечными вставками. Образцы во вставках имитируют следующие участки очищаемого тракта котла.

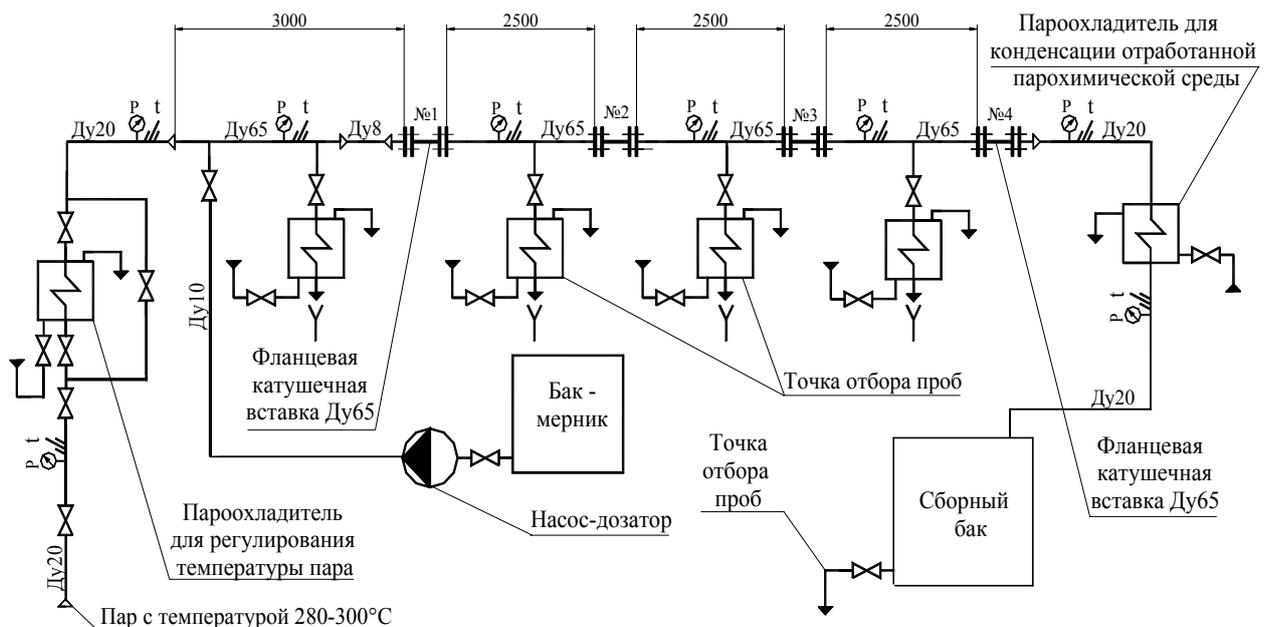


Рис.1. Принципиальная схема полупромышленного стенда ПХО.

№1 – чистые (от эксплуатационных отложений) поверхности металла котла (барабан для парового котла, коллектора, перепускные трубы).

№2 – входной участок экранной трубы.

№3 – средний участок экранной трубы (теплонапряженная зона котла).

№4 – выходной участок экранной трубы.

Из бака-мерника насосом-дозатором водный раствор трилона Б вводится в пар непосредственно перед анализируемыми образцами. После прохождения через образцы с заданной температурой, концентрацией и рН, отработанная ПХС охлаждается до комнатной температуры и поступает в бак сбора конденсата.

По тракту движения ПХС установлены пробоотборные точки с пароохладителями, а из сборного бака имеется возможность отбора пробы конденсата отработанной ПХС.

Установленные требования к методу ПХО котельных труб от отложений:

- коррозионные потери с чистой поверхности образцов котельных труб из Ст.20 не более 15 г/(м<sup>2</sup>·ч) [7];

- реакционная способность ПХС не менее 40 г/(м<sup>2</sup>·ч);

- снижение удельной загрязненности внутренних поверхностей котельных труб в процессе очистки с 400 г/м<sup>2</sup> до 70 г/м<sup>2</sup> [8];

- длительность воздействия ПХС на чистые внутренние поверхности пароводяного тракта не более 10 часов.

При проведении стендовых исследований устанавливались следующие параметры:

- давление пара, 1,0-2,2 МПа;

- расход ПХС через образец, 200÷300 кг/ч;

- рабочая температура ПХС, 180÷220 °С;

- соотношение расходов водного раствора трилона Б и пара, 1/100.

Характеристика применяемых образцов:

- диаметр, 60×6 мм;

- длина, 100 мм;

- материал, Ст. 20.

Выбор длины образца определялся исходя из следующих условий:

- возможностью взвешивания образца до и после эксперимента на технических лабора-

торных весах с точностью до сотой доли грамма;

- исключение любых механических повреждений, влияющих на вес образца, при установке во фланцевое соединение и извлечении из него.

Образцы для стенда изготавливались из экранных труб парового котла ТГМЕ-464 ст.№1 ТЭЦ-3 ОАО «НТЭК».

Данные по исходному удельному количеству эксплуатационных отложений и их химическому составу приведены в табл.1.

В процессе экспериментальных исследований определялись:

- коррозионные потери с чистой внутренней поверхности котельной стали от воздействия ПХС при различных значениях рН, температуре и концентрации композиции солей ЭДТК в паре (образец №1);

- очищающая способность ПХС при различных значениях рН, температуре и концентрации композиции солей ЭДТК в паре (образцы №2-4).

- оптимальная температура и максимально возможная очищающая способность ПХС в диапазоне 180÷220 °С при допустимых коррозионных потерях с чистой поверхности котельной стали.

В схему ПХО барабанного котла типа ТГМЕ-464 входят следующие элементы (рис.2).

Результаты экспериментальных исследований метода ПХО на основе композиции солей ЭДТК в ПХС представлены в табл.2.

Выводы из результатов стендовых исследований.

1. Оптимальным рН водно-химического раствора является диапазон 7,0÷8,0.

2. Процентное соотношение солей ЭДТК в композиции 50/50.

3. Коррозионные потери Ст.20 с чистой поверхности образца при процентном соотношении солей ЭДТК в композиции 50/50 не превышает установленной нормативной величины.

4. Очищающая способность ПХС не менее 40 г/(м<sup>2</sup>·ч).

Таблица 1

Удельное количество отложений и их химический состав

Образец	Удельное количество отложений, г/м <sup>2</sup>	Химический состав отложений, (%)				
		Потери после прокаливания	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO+Mg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Фронтной экран	408,1	1,5	32,2	1,9	33,1	31,0

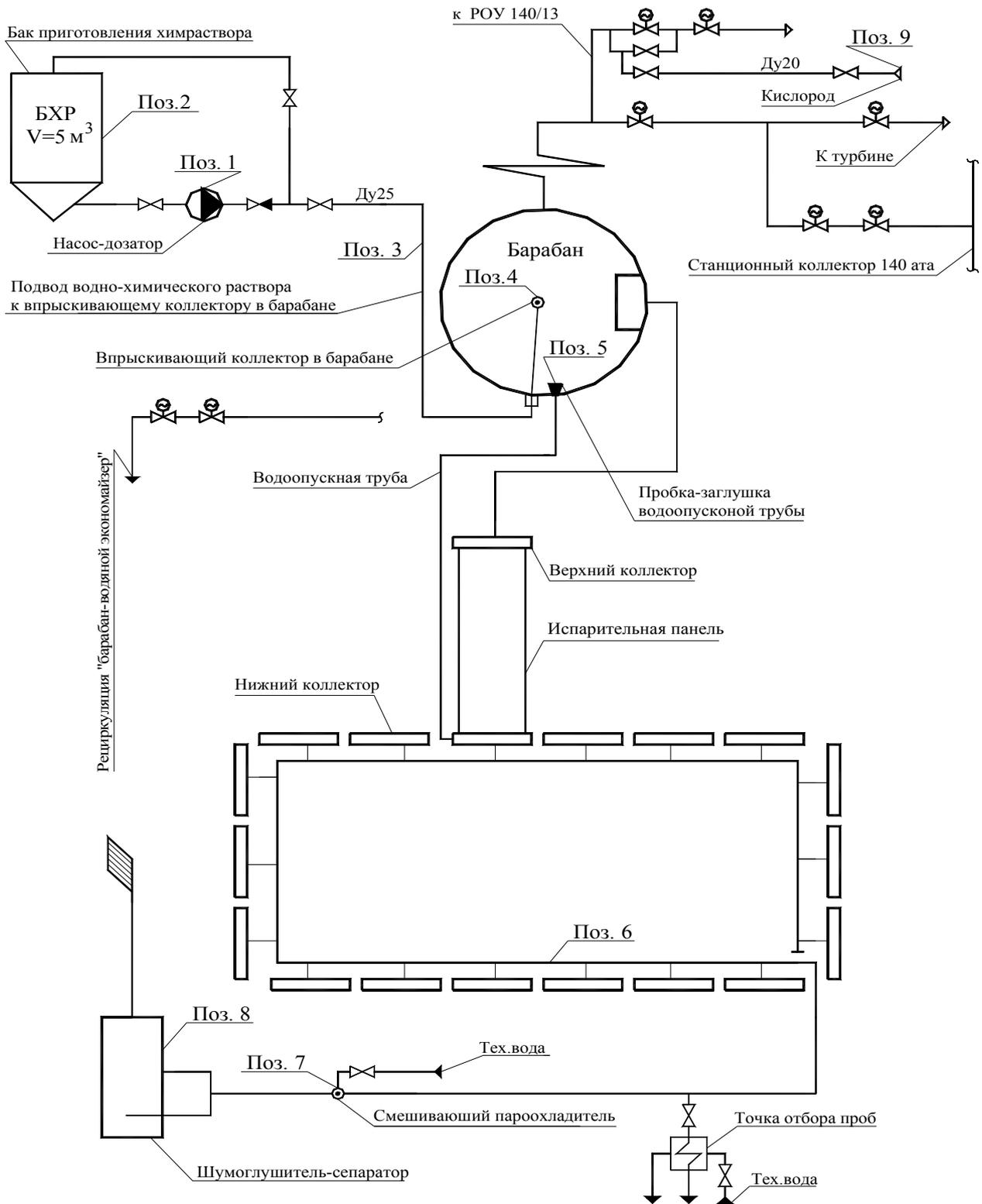


Рис.2. Схема паро-химической очистки и парокислородной пассивации котла ТГМЕ-464.

Поз.1 – насос подачи химраствора; Поз.2 – бак приготовления химраствора; Поз.3 – трубопровод подачи химраствора во впрыскивающий коллектор барабана; Поз.4 – впрыскивающий коллектор в барабане котла; Поз.5 – пробки-заглушки водоопускных труб в барабане; Поз.6 – временный коллектор обвязки дренажей нижних коллекторов экранов; Поз.7 – смешивающий пароохладитель; Поз.8 – шумоглушитель-сепаратор; Поз.9 – подвод кислорода для парокислородной пассивации после ПХО.

Таблица 2

Коррозионные потери и очищающая способность

Характеристика образца	Концентрация 4-х замещенной натриевой соли ЭДТК в растворе, г/дм <sup>3</sup>	Концентрация трилона Б в растворе, г/дм <sup>3</sup>	рН раствора	Удельная загрязненность образца, г/м <sup>2</sup>	Вес образца до опыта, г	Вес образца после опыта, г	Убыль массы образца, г	Скорость коррозионных потерь, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	Очищающая способность ПХС, г/(м <sup>2</sup> ·ч)
Ø60×6 Ст.20	53	47	8	0	787,59	787,43	0,16	11	-
Ø60×6 Ст.20	45	55	7	0	787,29	787,19	0,1	7	-
Ø60×6 Ст.20	53	47	8	408	754,63	754,01	0,63	-	42
Ø60×6 Ст.20	45	55	7	408	733,70	733,08	0,62	-	41

**Заключение.**

Практическая реализация метода ПХО обеспечит:

- значительное снижение материальных затрат на подготовку схемы очистки;
- уменьшение количества используемых химических реагентов;
- снижение остаточной загрязненности котельных труб до нормативно установленной величины;
- сокращение объема отработанных водно-химических стоков.

**ЛИТЕРАТУРА.**

1. Маргулова Т.Х. Применение комплексонов в теплоэнергетике.- М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Маргулова Т.Х. Химические очистки теплоэнергетического оборудования. Выпуск 2.- М.: Энергия, 1978.
3. Патент на изобретение №2313053. Способ парохимической очистки внутренних поверхностей ко-

тельных труб от отложений. Патентообладатель ОАО «ВТИ». Авторы: Полевич А.Н., Федосеев Б.С.

4. Федосеев Б.С., Полевич А.Н., Леусенко А.С. Теоретическое обоснование метода парохимической очистки поверхностей нагрева от эксплуатационных отложений // Энергетик. 2007. №6. С.31-32.

5. Полевич А.Н. Паро-химическая очистка от эксплуатационных отложений внутренних поверхностей нагрева водогрейного котла типа ПТВМ-180 // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. №2.

6. Полевич А.Н. Полупромьшленный стенд ВТИ для продолжения экспериментальных исследований метода паро-химической очистки внутренних поверхностей нагрева котельных труб от отложений // Энергосбережение и водоподготовка. 2013. №1.

7. РД 34.37.404. Методические указания по предпусковой химической очистке теплоэнергетического оборудования.- М.: СПО Союзтехэнерго, 1986.

8. РД 153-34.1-37.306-2001. Методические указания по контролю состояния основного оборудования тепловых электрических станций. Определение количества и химического состава отложений.- М.: ОАО «ВТИ», 2003.

## THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE METHOD OF STEAM-CHEMICAL CLEANING OF INTERNAL SURFACES BOILER PIPES FROM DEPOSITS ON THE VTI SEMI-INDUSTRIAL STAND FOR THE EXPERIMENTAL RESEARCHES

A.N. POLEVICH, Ph.D. (Tech.)

JSC "All-Russia Thermal Engineering Institute", 14, Avtozavodskaya Str., Moscow, 115280, Russia

**Abstract.** The result of the accumulated experience from previous experimental studies and practical implementation of the method of steam chemical cleaning (PHO), as part of the combined method, was developed by the project and installation of pilot plant stand. The steam from the CHP pipeline through the desuperheater is fed to the experimental part of the stand with a flanged spool threads inserts. Samples in boxes simulating areas cleared a tract of the boiler. The practical implementation of the method will provide a significant reduction in material costs to prepare schemes of cleanup; reducing the number of used chemicals; reduction of residual contamination of boiler tubes to normative set value; reduction in wastewater and chemical waste.

**Key words:** chemical cleaning of steam boiler tubes, industrial facility, steam boiler, a thermal power plant.

**REFERENCES.**

1. Margulova T.Kh. Primenenie kompleksonov v teploenergetike.- Moscow, Energoatomizdat, 1986.
2. Margulova T.Kh. Khimicheskie ochistki teploenergeticheskogo oborudovaniya. Vypusk 2.- Moscow, Energiya, 1978.
3. Patent na izobretenie No.2313053. Sposob parokhimicheskoi ochistki vnutrennikh poverkhnostei kotel'nykh trub ot otlozhenii. Patentoobladatel' ОАО «ВТИ». Avtory: Polevich A.N., Fedoseev B.S.
4. Fedoseev B.S., Polevich A.N., Leusenko A.S. Teoreticheskoe obosnovanie metoda parokhimicheskoi ochistki poverkhnostei nagreva ot ekspluatatsionnykh otlozhenii // Energetik, 2007, No.6, P.31-32.
5. Polevich A.N. Paro-khimicheskaya ochistka ot ekspluatatsionnykh otlozhenii vnutrennikh poverkhnostei nagreva vodogreynogo kotla tipa PTVM-180 // Energoberezhenie i vodopodgotovka, 2009, No.2.
6. Polevich A.N. Polupromyshlenniy stand VTI dlya prodolzheniya eksperimental'nykh issledovaniy metoda parokhimicheskoi ochistki vnutrennikh poverkhnostei nagreva kotel'nykh trub ot otlozhenii // Energoberezhenie i vodopodgotovka, 2013, No.1.
7. RD 34.37.404. Metodicheskie ukazaniya po predpuskovoi khimicheskoi ochistke teploenergeticheskogo oborudovaniya.- Moscow, SPO Soyuztekhnenergo, 1986.
8. RD 153-34.1-37.306-2001. Metodicheskie ukazaniya po kontrolyu sostoyaniya osnovnogo oborudovaniya teplovykh elektricheskikh stantsii. Opredelenie kolichestva i khimicheskogo sostava otlozhenii.- Moscow, ОАО «ВТИ», 2003.

## ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ТУРБОДЕТАНДЕРНОГО АГРЕГАТА

**В.П. МАЛЬХАНОВ**<sup>1</sup>, д.т.н., генеральный директор

**О.В. МАЛЬХАНОВ**<sup>1</sup>, к.т.н.

**Х.А. ХЕДЬЕ**<sup>2</sup>, главный инженер проекта

**Р.А. АББАСИ**<sup>3</sup>, заместитель директора

**Х.А. МОХАММАДИ ТОДЕШКИ**<sup>3</sup>, инженер

<sup>1</sup>ООО «ТурбоДЭн», 105264, г. Москва, ул. Верхняя Первомайская, 32

<sup>2</sup>Esfahan Power Maintenance Company, Исламская Республика Иран, P.O. Box 111, Keshavarz Blvd, Isfahan, 81785, Iran

<sup>3</sup>ТЭС «Шахид Моххамад Монтазери», Исламская Республика Иран, Shanin Shahr Isfahan, Iran

**Аннотация.** ООО «ТурбоДЭн» (г.Москва) разработал энергосберегающий турбодетандерный агрегат ЭТДА-8000, предназначенный для преобразования энергии избыточного давления природного газа в электроэнергию. Основное оборудование ЭТДА состоит из: детандер-генераторного блока, блока стопорно-дозировочного, байпасного блока, электрических шкафов управления генератором, оборудования операторной автоматизированной системы управления, блока маслоснабжения, смонтированных в специально построенном здании, а также блока маслоохлаждения и теплообменников «пар-газ», размещенных вне здания ЭТДА. По результатам опытно-промышленных 15-ти суточных испытаний ЭТДА-8000 №1 вырабатываемая мощность ЭТДА (5,0÷6,7 МВт) соответствовала реальным условиям и параметрам газа ГРП-1.

**Ключевые слова:** энергосберегающий турбодетандерный агрегат, газорегуляторный пункт, тепловая электростанция, опытно-промышленные испытания.

Первый образец ЭТДА-8000 [1] - ЭТДА-8000 №1 - был смонтирован на газорегуляторном пункте №1 (ГРП-1) ТЭС Монтазери (г.Исфахан, Иран). Турбодетандер ЭТДА подключен своими входным и выходным газопроводами к входному и выходному коллекторам ГРП-1 (рис.1). Генератор ЭТДА (напряжение 6,3 кВ) подключен к трансформатору собственных нужд ТЭС.

Операторная ЭТДА оснащена автоматизированными рабочими местами (АРМ) оператора и инженера, местной телефонной связью с ТЭС и Интернетом, обеспечивающим оперативный обмен информацией и мониторинг состояния установки российскими организациями-изготовителями технологического оборудования ЭТДА и системы управления.

В соответствии с исходными требованиями на ЭТДА-8000 его основными параметрами являются:

- давление газа на входе в турбодетандер - 0,9 МПа;
- давление газа на выходе из турбодетандера - 0,1 МПа;
- расход газа через турбодетандер на номинальном режиме – 200000 нм<sup>3</sup>/ч;
- температура газа на входе в турбодетандер - 109 °С;
- вырабатываемая мощность ЭТДА на номинальном режиме - 8,0 МВт.

В предпусковой период испытаний ЭТДА была осуществлена проверка работоспособности всех систем, электрических цепей и оборудования ЭТДА, проведена наладка и испытания:

- маслосистемы смазки и автоматики, в том числе аварийного включения резервов (АВР);
- маслосистемы уплотнения;
- системы регулирования ЭТДА;
- системы охлаждения масла;
- системы подогрева газа;
- системы автоматизированного управления;
- электросистемы собственных нужд;
- системы возбуждения генератора;
- системы управления и защиты генератора.

После чего были проведены предварительные и 72-х часовые испытания ЭТДА-8000 №1.

В период предварительных испытаний ЭТДА были отработаны: режимы подготовки к пуску, пуск, процесс синхронизации генератора, набор нагрузки, нормальный и аварийный остановы, а также функционирование системы управления, всех технологических подсистем и оборудования установки в целом, взаимодействие систем регулирования давления ЭТДА и ГРП-1 на рабочих режимах, при нормальном и аварийном остановах, проверка защит турбоагрегата по газодинамическим и электрическим параметрам.

По данным предварительных испытаний ЭТДА корректировался алгоритм и программа автоматизированной системы управления ЭТДА.

Возможность проведения опытно-промышленных испытаний обеспечили результаты проведенных комплексных 72-х часовых испытаний ЭТДА-8000 №1 и реальные условия ГРП-1.

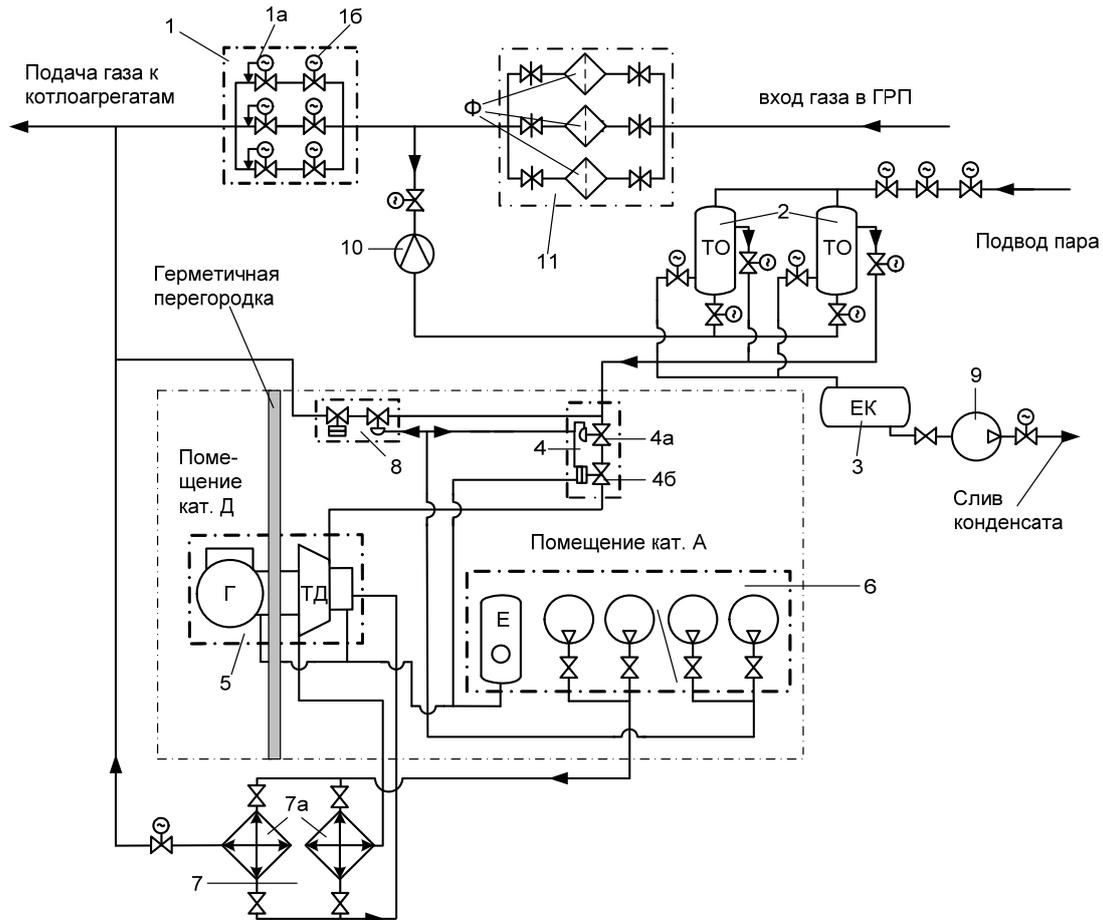


Рис.1. Технологическая схема ЭТДА-8000 на ГРП-1 ТЭС Монтазери, Иран.

1 - Блок редуцирования ГРП ТЭС, где: 1а - регулятор с электроприводом; 1б - задвижка электроприводная; 2 - теплообменник «пар-газ»; 3 - емкость для конденсата; 4 - блок стопорно-дозировочный, где: 4а - клапан стопорный; 4б - клапан дозирующий; 5 - блок детандер-генераторный; 6 - блок маслоснабжения; 7 - блок маслоохлаждения, где: 7а - теплообменник; 8 - блок байпасный; 9 - насос; 10 - расходомерный узел; ТД - турбодетандер; Г - генератор; Е - емкость.

Таблица 1

Значения параметров ЭТДА-8000 № 1 в период опытно-промышленных испытаний

№ п/п	Параметры ЭТДА	Значения параметров ЭТДА		
		19.10.2014, с 18-26 по 21-45	21.10.2014, с 01-52 по 03-38	23.10.2014, с 09-03 по 09-59
1	Электрическая мощность генератора, МВт	5,82	5,01	6,00
2	Давление газа на входе в турбодетандер, МПа	0,717	0,653	0,734
3	Давление газа после маслоохладителей, МПа	0,107	0,107	0,108
4	Температура газа на входе в турбодетандер, °С	83	85	83
5	Температура газа на выходе из турбодетандера, °С	1,9	4,9	5,8
6	Расход газа через турбодетандер, нм <sup>3</sup> /ч	128707	121598	131148
7	Температура 1-го ряда колодок упорного подшипника турбодетандера, °С	53,2	53,9	54,8
8	Температура 2-го ряда колодок упорного подшипника турбодетандера, °С	68,7	68,0	70,2
9	Температура масла на сливе переднего подшипника турбодетандера, °С	59	59,6	60,6
10	Температура масла на сливе заднего подшипника турбодетандера, °С	44	45	45,5
11	Частота электрического тока генератора, Гц	49,98	50,08	49,92
12	Напряжение генератора, кВ	6,53	6,41	6,35
13	Давление газа на входе в агрегат, МПа	0,898	0,919	0,895
14	Давление газа после теплообменника «пар-газ», МПа	0,890	0,918	0,884
15	Температура упорного подшипника генератора, °С	52,2	56,4	57,6
16	Температура опорного подшипника генератора, °С	55,8	56,9	56,4

По результатам опытно-промышленных 15-ти суточных испытаний ЭТДА-8000 №1 можно сделать следующие выводы:

1. Все технологические системы ЭТДА работали устойчиво на всех режимах.
2. Все контролируемые параметры ЭТДА были в норме и не выходили за допустимые значения.
3. Все исполнительные механизмы ЭТДА находились в режиме АУ и правильно обрабатывали команды системы управления.
4. Предпусковые операции, пуск, набор оборотов, синхронизация с сетью, нагрузка, разгрузка, регулирование технологических параметров и останов выполнялись в автоматическом режиме.
5. Система управления работала устойчиво и без сбоев, все команды управления, регулирующие воздействия, предупредительные сообщения оператору и аварийные защиты формирова-

лись правильно и в соответствии с заданным алгоритмом.

6. Вырабатываемая мощность ЭТДА (5,0÷6,7 МВт) соответствовала реальным условиям и параметрам газа ГРП-1.

7. Система автоматического регулирования давления газа ЭТДА и ГРП-1 стабильно обеспечивали заданное значение давления газа на выходе из ГРП на всех режимах работы ЭТДА, а также при его запуске, нормальном и экстренном остановах.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Мальханов О.В. Энергосберегающий турбодетандерный агрегат мощностью 8000 кВт - ЭТДА-8000, предназначенный для выработки электроэнергии на ГРП тепловой электростанции // Надежность и безопасность энергетики. 2008. №3.

## TRIAL-COMMERCIAL TESTS OF THE ENERGY-SAVING TURBINE-EXPANDER UNIT

V.P. MALKHANOV<sup>1</sup>, D.Sc. (Tech.)

O.V. MALKHANOV<sup>1</sup>, Ph.D. (Tech.)

H.A. HEDIEH<sup>2</sup>, Eng.

R.A. ABBASI<sup>3</sup>, Eng.

H.A. MOHAMMADI TODESHKI<sup>3</sup>, Eng.

<sup>1</sup>«TurboDEN» Ltd., 32, Pervomayskaya Verkhniaya Str., Moscow, 105264, Russia

<sup>2</sup>Esfahan Power Maintenance Company, Islamic Republic of Iran, P.O. Box 111, Keshavarz Blvd, Isfahan, 81785, Iran

<sup>3</sup>Shahid Mohammed Montazeri Thermal Power Plant, Islamic Republic of Iran, Shanin Shahr Isfahan, Iran

**Abstract.** "Turboden" Ltd. (Moscow) developed the energy saving turbo-expander unit ETDA-8000 intended for transformation of energy of excessive pressure of natural gas to the electric power. The main equipment of ETDA-8000 consists of: the turbine-expander block, the block of lock dosing, the bypass block, electric cases of control of the generator, the equipment of an operator automated control system, the block of oil supply mounted in specially built building, and also the block of oil cooling and steam-gas heat exchangers placed out of the building of ETDA. By results of trial 15 daily tests of ETDA-8000 No.1 it is possible to draw the following conclusions: technological systems of ETDA worked steadily at all modes; prestarting operations, start-up, a set of turns, synchronization with a network, loading, unloading, regulation of technological parameters and a stop were carried out in the automatic mode; the control system worked steadily and without failures, all teams of management regulating influences, precautionary messages to the operator and emergency protection were formed correctly and according to the set algorithm; the developed ETDA power (5,0÷6,7 MW) corresponded to real conditions and parameters of GRP-1 gas.

**Key words:** energy-saving turbine-expander unit, gas control point, thermal power plant, trial-commercial tests.

#### REFERENCES.

1. Malkhanov O.V. Energoberegayushchii turbodetandernyi agregat moshchnost'yu 8000 kVt - ETDA-8000, prednaznachennyi dlya vyrabotki elektroenergii na GRP teplovoi elektrostantsii // Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki, 2008, No.3.

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТУРБИН В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Б.Е. МУРМАНСКИЙ, к.т.н.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д.19

**Аннотация.** В настоящей статье представлены результаты исследования возможности повышения надежности систем парораспределения, предотвращения заклинивания опорных подшипников и вызванных этим неплановых остановов за счет применения в качестве смазки фторсодержащих поверхностно-активных веществ, на основе эпилама, которые представляют собой многокомпонентные системы, включающие фторорганические поверхностно-активные вещества в различных растворителях и регулирующие добавки. Разработана специальная технология нанесения раствора эпилама на поверхности трения в подшипнике качения, обеспечивающая полную обработку сепаратора и роликов подшипника; при этом обеспечивается упрочнение их поверхности, придание ей антикоррозионных и антифрикционных свойств.

**Ключевые слова:** система парораспределения турбин, подшипники, паровая турбина, фторсодержащие вещества.

Комбинированная выработка электрической и тепловой энергии обеспечивает до 35% экономии топлива по сравнению с отдельной выработкой [1]. Неплановые остановки теплофикационных турбин, как правило, приводят к необходимости выработки тепловой энергии на котлах и, как следствие, к снижению эффективности производства энергии.

В настоящей работе представлены результаты исследования автора по повышению надежности и предотвращению причин неплановых остановов теплофикационных турбин типа Т-100-130 (Т-110/120-130) ЗАО «УТЗ».

Результаты исследования надежности работы турбин Т-100-130 ЗАО УТЗ и ее модификаций показывают, что одним из наиболее повреждаемых узлов турбин этого типа является система парораспределения [2,3], повреждения которой составляют 20,6% всех отказов (рис.1).

Эти отказы, как правило, вызваны обрывами штоков клапанов, их изгибом, трещинами в корпусах клапанов, повреждениями сопловых

коробок клапанов, дефектами кулачкового распределительного устройства. Результаты исследования автора показали, что значительное число повреждений происходит непосредственно в механизме парораспределения (38% всех отказов, вызываемых системой парораспределения). Большинство (68%) этих повреждений происходит из-за заклинивания опорных подшипников кулачкового распределительного вала и, как следствие, разрушения сепаратора подшипника.

Кулачковый распределительный механизм состоит из двух полуvalов, соединенных полугибкой муфтой. Кулачковый вал установлен на раму на шести двухрядных сферических роликовых подшипниках №3518 (№3520). Рама крепится на двух зубьях, отлитых на паровых коробках верхних регулирующих клапанов. Вращение кулачковому валу передается от главного сервомотора. Поступательное движение поршня сервомотора преобразуется во вращательное движение с помощью зубчатого сектора и шестерни, расположенной непосредственно на кулачковом валу.

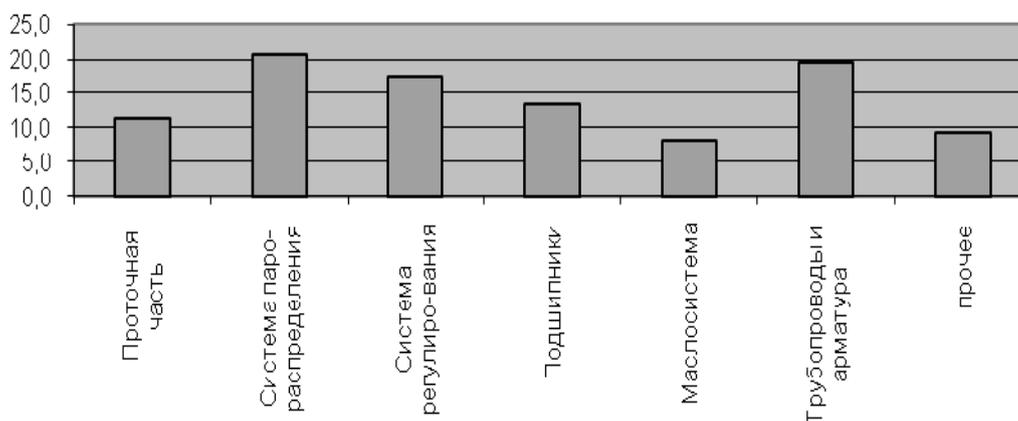


Рис.1. Распределение отказов теплофикационных турбин Т-100-130 по основным системам и узлам (деталям), %.

Анализ условий работы механизма парораспределения показал, что опорные подшипники распределительного вала работают в зоне повышенной температуры 280...300 °С (разброс температуры зависит от наличия обшивки ЦВД). Применяемые, согласно рекомендации завода-изготовителя, жидкие и консистентные смазки при этой температуре выгорают, а при попадании пыли коксуются. Это, по мнению автора, является основной причиной заклинивания опорных подшипников.

В настоящей статье представлены результаты исследования возможности повышения надежности систем парораспределения, предотвращения заклинивания опорных подшипников и вызванных этим неплановых остановов за счет применения в качестве смазки фторсодержащих поверхностно-активных веществ, на основе эпилама, которые представляют собой многокомпонентные системы, включающие фторорганические поверхностно-активные вещества в различных растворителях и регулирующие добавки.

По данным работы [4] при нанесении эпилама на поверхность твердого тела образуется тонкий слой специальным образом ориентированных молекул, позволяющий модифицировать поверхность материалов с целью придания ей антифрикционных, антиадгезионных, антикоррозионных и некоторых других специфических свойств:

- резко уменьшается поверхностная энергия материала (примерно в 1000-10000 раз; для металлов: с 3000-5000 мН/м до 2-4 мН/м), что ведет к существенному снижению коэффициента трения и как следствие этого – к повышению износостойкости сопряженных деталей. Коэффициент трения снижается примерно в 10 раз, а величина момента трогания покоя в 10000 раз по сравнению с необработанными поверхностями; поверхность защищается от воздействия влаги и агрессивных веществ;

- пленки ПАВ стойки к низким и высоким температурам (они не изменяют своих эксплуатационных характеристик в интервале температур от -200 °С до +450 °С), к давлению (удельная нагрузка до 300 кг/мм<sup>2</sup>), воздействию химических веществ и радиации.

Известно [4], что при обработке поверхности раствором фторсодержащее поверхностно-активное вещество адсорбируется поверхностью и образует на ней тонкий слой толщиной

30-50 Ангстрем. В зависимости от состава, концентрации растворов ФПАВ и технологии обработки изделий возможно придание тех или иных требуемых свойств обрабатываемым поверхностям:

- снижение поверхностного натяжения, что приводит к приобретению поверхностями водо- и маслоотталкивающих свойств и исключает смачивание углеводородными маслами;

- значительное снижение коэффициента трения и величины момента трогания покоя, в результате чего незначительно нагруженные подшипники качения могут работать без смазки, что особенно важно при высоких температурах, ведущих к пригаранию консистентной смазки.

В рамках выполненного автором исследования была разработана и защищена авторским свидетельством [5] специальная технология нанесения раствора эпилама на поверхности трения в подшипнике качения, обеспечивающая полную обработку сепаратора и роликов подшипника; при этом обеспечивается упрочнение их поверхности, придание ей антикоррозионных и антифрикционных свойств. Технология обработки включает следующие операции:

1. Подготовка поверхности;

- 1.1. Очистка поверхности ротора от механических загрязнений, продуктов коррозии и следов пригара масла;

- 1.2. Обезжиривание поверхности;

- 1.3. Сушка;

2. Нанесение покрытия;

3. Окончательная сушка;

4. Контроль качества покрытия.

В соответствии с разработанной технологией нанесение покрытия осуществлялось методом погружения опорных подшипников системы парораспределения в кипящий раствор фторсодержащих поверхностно-активных веществ.

Для опытно-промышленной апробации разработанной технологии был обработан комплект из 6 роликовых подшипников типа 3518 и установлен на турбоагрегате Т-100-130 ст.№7 Среднеуральской ГРЭС. Периодический контроль в процессе эксплуатации, проводимый в течении 1,5 лет (наработка турбины составила более 9000 часов), показал отсутствие замечаний к работе системы парораспределения (аналогичные подшипники без обработки работали 6...8 месяцев). После первого года эксплуатации турбоагрегата была выполнена

ревизия, которая показала хорошее состояние подшипников.

После этого были обработаны 3 комплекта подшипников и установлены на турбинах Т-100-130 ст.№7, Р-38 ст.№8 Среднеуральской ГРЭС и Т-110/120-130 ст.№1 Ново-Свердловской ТЭЦ.

В процессе эксплуатации всех турбин проводился периодический контроль и анализ состояния подшипников, который показал, что обработанные комплекты подшипников отработали без повреждений плановый межремонтный период, который составил для разных турбин 5-7 лет.

Аналогичные работы реализованы на подшипниках системы парораспределения турбины Т-88-90 (К-100-90 ЛМЗ) ст.№10 Нижнетуринской ГРЭС. Система парораспределения с обработанными подшипниками отработала межремонтный период 5 лет без замечаний.

Таким образом, обработка опорных подшипников кулачково-распределительного механизма системы парораспределения турбин раствором фторсодержащих поверхностно-активных веществ на основе эпилама и ис-

ключение за счет такой обработки традиционно применяемых консистентных смазок позволило устранить основную причину неплановых остановов, значительно сократить время простоя турбины в ремонте, а также затраты топлива на пуски и, в конечном счете, повысить надежность работы турбины в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода / Г.Д.Баринберг [и др.]. - Екатеринбург: «Априо», 2010. 488 с.
2. Анализ показателей надежности теплофикационных турбин / Б.Е.Мурманский [и др.] // Теплоэнергетика. 2011. №1. С.40-43.
3. Ремонт и техническое обслуживание оборудования паротурбинных установок: в 2 т. / Ю.М.Бродов [и др.]. - Екатеринбург: УрФУ, 2011. 1029 с.
4. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов: Справочник. - М.: Машиностроение, 1986. 320 с.
5. Патент 2218999 РФ. Способ нанесения фторсодержащих поверхностно-активных веществ на подшипники качения / Мурманский Б.Е., Мительман М.М., Бухман Г.Д.

## INCREASE OF RELIABILITY OF WORK OF SYSTEMS OF STEAM DISTRIBUTION OF TURBINES UNDER OPERATING CONDITIONS

**B.E. MURMANSKII**, Ph.D. (Tech.)

*Ural Federal University, 19, Mira Str., Moscow, 620002, Russia*

**Abstract.** Results of research of possibility of increase of reliability of systems of steam distribution, prevention of jamming of basic bearings and not planned stops caused by it due to application as greasing of fluorinated surface-active substances, on the basis of an epilam which represent the multicomponent systems including fluororganic surface-active substances in various solvents and regulating additives are presented in the present article. The special technology of putting solution of an epilam on a friction surface in the rolling bearing providing full processing of a separator and rollers of the bearing is developed; thus hardening of their surface, giving of anticorrosive and antifrictional properties to it is provided. Research results are presented of the damageability reasons for the cogeneration turbines T-100/110-130 manufactured by Ural Turbomotor Works. It is shown that the considerable share of not planned stops of these turbines is caused by damages of steam distribution system, thus the majority of these damages are caused by jamming of camshaft block bearings. To prevent such damages there was developed and tested on a large number of turbines a technology of camshaft block bearings processing with the use of fluorinated bathotonic substances, based on an epilam.

**Key words:** system of steam distribution of turbines, bearings, the steam turbine, fluorine the containing substances, turbine unit, damageability, bathotonic substances, epilam.

#### REFERENCES.

1. Parovye turbiny i turbostanovki Ural'skogo turbinnogo zavoda / G.D.Barinberg and others. - Ekaterinburg, «Aприо», 2010, 488 p.
2. Analiz pokazatelei nadezhnosti teplofikatsionnykh turbin / B.E.Murmanskii and others // Teploenergetika, 2011, No.1, p.40-43.
3. Remont i tekhnicheskoe obsluzhivanie oborudovaniya paroturbinnnykh ustanovok: v 2 t. / Yu.M.Brodov and others. - Ekaterinburg, UrFU, 2011, 1029 p.
4. Polevoi S.N., Evdokimov V.D. Uprochnenie metallov: Spravochnik. - Moscow, Mashinostroenie, 1986, 320 p.
5. Patent 2218999 RF. Sposob naneseniya ftorsoderzhashchikh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na podshipniki kacheniya / Murmanskii B.E., Mitel'man M.M., Bukhman G.D.

## СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК И ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНСЕРВАЦИИ ПАРОВОДОЯНОГО КОНТУРА БЛОКОВ АЭС С ВВЭР НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩЕГО АМИНА

А.Н. КУКУШКИН<sup>1</sup>, д.т.н., главный конструктор

В.В. ОМЕЛЬЧУК<sup>2</sup>, директор

Р. ВАГНЕР<sup>3</sup>, директор

<sup>1</sup>ОАО «ВНИИАМ», 125171, г. Москва, ул. Космонавта Волкова, 6А

<sup>2</sup>Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Кольская атомная станция», 184230, Мурманская обл., г. Полярные Зори

<sup>3</sup>REICON Wärmetechnik und Wasserchemie Leipzig GmbH, Германия, 04103, г. Лейпциг, Лагерхоф штр., 2

**Аннотация.** Российскими и немецкими специалистами разработана принципиально новая технология консервации теплоэнергетического оборудования на основе использования поверхностно-активных аминов. Данная технология эффективна для всех типов материалов, используемых в теплоэнергетике. Основным консервантом является поверхностно-активный амин. Ингибирующий эффект заключается в формировании на поверхностях конструкционных материалов молекулярной гидрофобной коррозионно-защитной пленки, предохраняющей металл от воздействия кислорода, углекислоты и других коррозионно-агрессивных веществ.

**Ключевые слова:** АЭС, ТЭС, атмосферная коррозия, консервация, пленкообразующие амины.

Коррозия внутренних поверхностей оборудования и трубопроводов пароводяного тракта под действием рабочей среды в течение периодов эксплуатации на мощности, а также во время простоев под воздействием атмосферных условий является актуальной проблемой для энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР.

Ущерб, связанный с атмосферной коррозией, представляет наибольшую опасность из-за образования язв, трещин других локальных повреждений на поверхностях металла, испытывающих максимальные нагрузки. Стояночная коррозия протекает при наличии влаги, кислорода и других коррозионно-агрессивных веществ в окружающей атмосфере. Скорость атмосферной коррозии аустенитной стали во влажной среде при свободном доступе кислорода воздуха обычно составляет  $\sim 0,05$  г/(м<sup>2</sup>·ч), что выше предельного нормируемого значения для энергетического оборудования 0,03 г/(м<sup>2</sup>·ч) [1] и соответствует скорости утонения металла  $\sim 57$  мкм/год.

Перспективным методом борьбы с атмосферной коррозией, широко применяющимся в различных отраслях промышленности, является применение контактных ингибиторов. Наиболее эффективным ингибитором является пленкообразующий амин - октадециламин (ОДА) – C<sub>18</sub>H<sub>37</sub>NH<sub>2</sub>, защитное действие которого обусловлено формированием на поверхности оборудования устойчивого адсорбционного слоя молекул ОДА, предохраняющего металл от воздействия кислорода, углекислого газа и

других коррозионно-агрессивных веществ [2-4].

ВНИИАМ (Россия) и фирмой REICON GmbH (Германия) накоплен значительный опыт применения ОДА для консервации оборудования и трубопроводов вторых контуров АЭС с реакторами ВВЭР на период планово-предупредительных ремонтов. Наиболее продолжительный опыт успешной консервации по данной технологии достигнут в течение более 5 лет простоя двух энергоблоков Армянской АЭС и почти 30 лет стоянки четырех энергоблоков АЭС «Норд» (Германия). Энергоблок №2 Армянской АЭС после положительного заключения о коррозионном состоянии в рамках международной экспертизы введен в эксплуатацию и успешно эксплуатируется в течение последующих 20 лет, применяя ОДА для консервации при ежегодных ремонтных стоянках.

Анализ коррозионного состояния оборудования энергоблоков АЭС «Норд» через 20 лет после вывода их из эксплуатации также свидетельствует о высоких защитных свойствах адсорбционной пленки ОДА, что демонстрируется гидрофобностью внутренних поверхностей оборудования и трубопроводов пароводяного контура и отсутствием следов стояночной коррозии.

Консервация оборудования с применением ОДА проводилась также на Кольской, Балаковской, Нововоронежской АЭС в России, на Запо-

рожской АЭС в Украине, на АЭС Пакш (Венгрия), на АЭС Козлодуй (Болгария).

Комплекс фундаментальных исследований специалистов России и Германии позволил усовершенствовать ранее разработанные технологии с целью повышения надежности, экономичности и ресурса энергетического оборудования на основе использования пленкообразующих аминов (ОДА).

В первую очередь это относится к разработке и внедрению технологии получения сверхчистого технического реагента ODACON (ОДА кондиционный) с содержанием первичных аминов 99,9% и количеством примесей на уровне долей %.

Высокое качество технического реагента ODACON подтверждается совпадением его характеристик со сверхчистым аналитическим ОДА по данным инфракрасной спектроскопии. (Выражается искренняя благодарность доктору Монике Аккерман (Университет г.Лейпцига, Германия) за проведение этих исследований). Значительным технологическим усовершенствованием является промышленное внедрение установки создания устойчивой водной суспензии ODACON, дозируемой при комнатной температуре, а также приборов измерения концентрации реагента, что предельно упрощает процесс дозирования и расширяет области применения ODACON-технологий. В соответствии с Техническим решением концерна «Росэнергоатом» проведены демонстрационные консервации оборудования и трубопроводов второго контура по ODACON технологии на энергоблоках №1 и №2 Кольской АЭС перед остановами в 2001-2002 годах. На основании результатов анализа положительного опыта применения разработан, одобрен Госатомнадзором России и утвержден эксплуатирующей АЭС организацией Типовой технологический регламент РД ЭО 0408-02 «Консервация оборудования и трубопроводов вторых контуров АЭС с ВВЭР с использованием пленкообразующих аминов» [5].

Для реализации данной технологии на Кольской АЭС создан стационарный комплекс по производству водной суспензии ODACON и ее дозированию на всас трубопровода питательной воды энергоблоков №1-4.

Ниже рассмотрены результаты проведения первой консервации пароводяного контура энергоблока №4 Кольской АЭС в 2003 году. На момент начала дозирования ODACON показатели рабочей среды турбоагрегатов (ТА) данного энергоблока соответствовали действующим нормам водно-химического режима (ВХР).

Мощность турбоагрегатов составляла: ТА7=186 МВт, ТА8=181 МВт. Общая продолжительность консервации – 240 ч. Расход реагента 100% ODACON – 156 кг.

В течение всего периода проведения работ по консервации вплоть до останова энергоблока №4 контролировалось качество рабочей среды и теплотехнические параметры.

Распределение ODACON к моменту достижения его динамического равновесия на различных участках технологического контура ТА-7 и ТА-8:

	ТА7 (мкг/кг)	ТА8 (мкг/кг)
Питательная вода за ПВД-8	2300	2200
Питательная вода за Д	1300	1150
Основной конденсат за КЭН	2000	2140
Основной конденсат за ПНД-5	1500	1800
Насыщенный пар	1500	1600

В процессе консервации не отмечено отклонений качества воды от требований норм ВХР, при работе установки СВО-5 и приборов автоматического химического контроля. В период проведения консервации оборудования теплотехнические показатели соответствовали нагрузке энергоблока №4 и находились в требуемых пределах.

По окончании останова энергоблока №4 произведено вскрытие и осмотр следующего оборудования со стороны второго контура: деаэратор ТА8, сепаратор пароперегреватель (СПП) ТА8, конденсатосборники 1, 2 ступеней, подогреватель низкого давления 4ПНД4, сепараторосборники сепаратора-пароперегревателя (СПП), парогенераторы 4ПГЗ, 4ПГ6. Состояние поверхностей оборудования характеризуется выраженной гидрофобностью и отсутствием следов стояночной коррозии.

В табл.1 представлены результаты измерений удельной сорбции ODACON на поверхностях оборудования.

Таблица 1  
Измеренные значения удельной сорбции ODACON  
на поверхности оборудования второго контура  
энергоблока №4 Кольской АЭС после консервации

Место отбора проб	Удельная сорбция, мкг/см <sup>2</sup>
Трубочатка 4ПГЗ в районе горячего коллектора между 1 и 2 дистанционирующими решетками	0,7
Деаэратор ТА8	1,2
СПП ТА8	0,37
Конденсатосборники 1, 2 ступени	2,7-3,1
Сепаратосборники ТА7,8	1,6-1,7
Подогреватель низкого давления 4ПНД4	1,175

Результаты измерений превышают предельное значение сорбции ODACON - 0,3 мкг/см<sup>2</sup>, обеспечивающее эффективность коррозионной защиты металлов на уровне 70-90%.

Данные по распределению ODACON по поверхностям второго контура в период консервации, степень его сорбции поверхностью оборудования, а также результаты внешнего осмотра поверхностей оборудования свидетельствуют об успешной консервации пароводяного контура энергоблока №4 Кольской АЭС. Ежегодное проведение консерваций пароводяного оборудования и трубопроводов энергоблока №4 Кольской АЭС с применением

ODACON-технологии подтвердило ее эффективность.

За счет адсорбции ODACON поверхностью металла [2-4] количество коррозионных отложений на внутренних поверхностях парогенераторов снижено на ~60-70% для оmyваемой водой части его корпуса после четырех консерваций и на ~30-40% для верхнего ряда трубочатки в зоне горячего коллектора.

В табл.2 сравнивается химический состав отложений на поверхностях парогенератора до и после проведения четырех ежегодных консерваций по ODACON-технологии, при этом отмечено снижение доли меди на трубном пучке парогенераторов и кремнистых соединений.

Анализ результатов измерений выноса солей в котловую воду парогенераторов за счет десорбции агрессивных анионов из отложений и шлама в процессе останова энергоблока свидетельствует о том, что регулярное применение ODACON-технологии консервации снижает накопление коррозионно-опасных примесей внутри ПГ (рис.1). Благодаря уменьшению загрязненности поверхностей нагрева хлоридами и другими опасными загрязнениями улучшается коррозионное состояние теплообменных поверхностей парогенераторов в процессе их длительной эксплуатации.

Таблица 2

Химический состав (%) отложений с поверхности корпуса и трубного пучка 4ПГ-3 до/после четырех ежегодных консерваций

Место контроля	Потери при прокаливании	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	CaO + MgO
Корпус, водная часть	2,8/2,6	14,6/4,0	77/91	2,5/отс.	1,6/1,7
Трубочатка	2,5/1,6	8,7/0,6	82/83	5,0/1,3	2,4/3,9

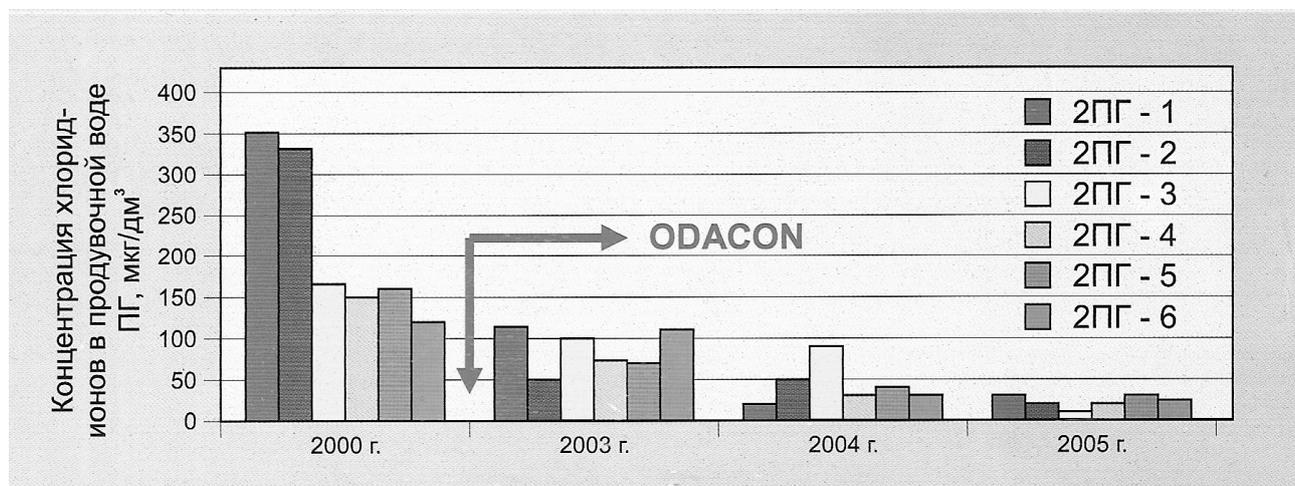


Рис.1. Сравнение всплесков концентрации хлорид-иона в продувочной воде парогенераторов при остановах энергоблока №2 Кольской АЭС до и после внедрения технологии консервации ODACON.

За счет регулярного применения ODACON-технологии консервации пароводяного контура энергоблоков Кольской АЭС обеспечивается постепенное снижение необходимого для консервации количества ODACON (в 2,5-3 раза), а также продолжительности выхода показателей качества рабочей среды на нормируемые уровни при пуске блоков. Кроме этого отмечается снижение концентрации продуктов коррозии, поступающих в парогенераторы в эксплуатационном режиме. Анализ многолетнего опыта применения технологии ODACON для консервации на энергоблоках №1-4 Кольской АЭС подтверждает ее высокую эффективность для повышения надежности и ресурса оборудования и трубопроводов вторых контуров.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-08-01021).*

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Труфанов Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющих сталей, сплавов и чистых металлов.- М.: «Металлургия», 1990.
2. Опыт ввода в эксплуатацию после консервации оборудования и трубопроводов второго контура 2 блока Армянской АЭС / Г.А.Филиппов [и др.] // Тяжелое машиностроение. 1997. №8. С.18-19.
3. Консервация теплоэнергетического оборудования с использованием реагентов на основе использования пленкообразующих аминов / Г.А.Филиппов [и др.] // Теплоэнергетика. 1999. №9. С.71-75.
4. Консервация теплоэнергетического оборудования энергоблока №3 ТЭС «Варна» с использованием пленкообразующих аминов / А.Н.Кукушкин [и др.] // Тяжелое машиностроение. 2002. №1. С.31-33.
5. Типовой технологический регламент РД ЭО 0408-02. Консервация оборудования и трубопроводов вторых контуров АЭС с ВВЭР с использованием пленкообразующих аминов.- Концерн «Росэнергоатом», 2002.

## THE RESEARCH WORK CONDITION AND INDUSTRIAL APPLICATION CONSERVATION TECHNOLOGY OF VAPOUR-WATER CYCLE OF VVER NUCLEAR POWER STATION USING SURFACE ACTIVE AMINE

A.N. KUKUSHKIN<sup>1</sup>, D.Sc. (Tech.)

V.V. OMEL'CHUK<sup>2</sup>, Eng.

R. WAGNER<sup>3</sup>, Eng.

<sup>1</sup>JSC "VNIAM", 6A, Kosmonavta Volkova Str., Moscow, 125171, Russia

<sup>2</sup>Kola NPP, Poliarnye Zori, Murmansk Region, 184230, Russia

<sup>3</sup>REICON Heating Technology and Water Chemical Processing Leipzig GmbH, 2, Lagerhofstraße, Leipzig, 04103, Germany

**Abstract.** Fundamentally, Russian and German specialists have developed new technology of thermal and nuclear power equipment conservation based on film-forming amines. This technology is efficient for all types of structural materials used in thermal power industry. The basic preservative is film-forming amine. Products trademark ODACON. ODACON inhibiting effect is ensured by molecular hydrophobic corrosion-protective film formed on the surface of structural materials. This film protects metal from oxygen, carbonic acid and other corrosive and aggressive substances.

**Key words:** Nuclear Power Plant, Thermal Power Plant, atmospheric corrosion, conservation, film-forming amines.

#### REFERENCES.

1. Trufanov D.G. Korroziionnaya stoikost' nerzhavayushchikh stalei, splavov i chistyx metallov.- Moscow, «Metallurgiya», 1990.
2. Opyt vvoda v ekspluatatsiyu posle konservatsii oborudovaniya i truboprovodov vtorogo kontura 2 bloka Armyanskoi AES / G.A.Filippov and others // Tyazheloe mashinostroenie, 1997, No.8, p.18-19.
3. Konservatsiya teploenergeticheskogo oborudovaniya s ispol'zovaniem reagentov na osnove ispol'zovaniya plenkoobrazuyushchikh aminov / G.A.Filippov and others // Teploenergetika, 1999, No.9, p.71-75.
4. Konservatsiya teploenergeticheskogo oborudovaniya energobloka No.3 TES «Varna» s ispol'zovaniem plenkoobrazuyushchikh aminov / A.N.Kukushkin and others // Tyazheloe mashinostroenie, 2002, No.1, p.31-33.
5. Tipovoi tekhnologicheskii reglament RD EO 0408-02. Konservatsiya oborudovaniya i truboprovodov vtorykh konturov AES s VVER s ispol'zovaniem plenkoobrazuyushchikh aminov.- Kontsern «Rosenergoatom», 2002.

**ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ****СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ КОМПОЗИТНЫХ СОРБЕНТОВ**

**А.С. ЧЕРКАСОВ**, аспирант

**Л.В. КУРТУКОВА**, к.т.н., старший преподаватель

**В.А. СОМИН**, к.т.н., доцент

**Л.Ф. КОМАРОВА**, д.т.н., профессор

*ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Алтайский край, г. Барнаул, просп. Ленина, 46*

***Аннотация.** Рассмотрены существующие проблемы подготовки на предприятиях подпиточной воды котлов и систем теплоснабжения. Показаны возможности применения новых сорбционных материалов для целей умягчения воды. Приведены экспериментальные данные по изучению сорбционных свойств разработанного материала. Предложены возможные пути совершенствования существующей схемы водоподготовки предприятия.*

***Ключевые слова:** водоподготовка, умягчение воды, подземные воды, котельная установка, ионообменные фильтры.*

Достижение необходимого качества очистки подземных вод различного состава предполагает многообразие технологических решений, от сложности которых зависит стоимость водоочистного оборудования и, собственно, очищенной воды. Выбор технологической схемы следует делать на основе всестороннего анализа показателей качества подземных вод с учетом установленной на практике эффективности работы схем водоочистки. Действенными мероприятиями являются: совершенствование технологических процессов, снижение удельного потребления воды, уменьшение расхода реагентов.

Организация водного режима котельной является одним из определяющих факторов надежной работы теплосилового оборудования. Водно-химический режим должен обеспечивать эффективную работу основного и вспомогательного теплоэнергетического оборудования без нарушения технологического процесса, образования накипи и отложений на теплопередающих поверхностях и тепловыводящих элементах, а также их коррозии.

Выбор способов и разработка технологий подготовки воды для подпитки котлов и систем теплоснабжения, должны производиться с учетом качества исходной воды, назначения котельной, санитарных требований к теплоносителю, условий безопасной эксплуатации, технико-экономических показателей и в соответствии с требованиями заводов-изготовителей.

Наиболее часто на предприятиях теплоэнергетики используются реагентные и ионообменные методы водоподготовки. Для ионообменных материалов характерно снижение в течение времени эксплуатационных характеристик, таких как продолжительность филь-

троцикла, объем обработанной воды при заданной эффективности ее очистки. При этом увеличивается количество регенераций, повышается удельный расход реагентов на очистку 1 м<sup>3</sup> воды. В процессе работы ионообменные смолы подвергаются воздействию различных факторов, которые ухудшают их технологические свойства (так называемое «старение» или «отравление»), что приводит к необходимости замены загрузки.

Источником водоснабжения на ООО «Барнаул РТИ» являются артезианские скважины, расположенные непосредственно на его территории. Подготовка воды предполагает удаление мелкодисперсных взвесей на механических фильтрах с последующей ионообменной очисткой на катионите КУ-2-8 и сульфогле СК-1 с удалением газов в атмосферном деаэраторе. Анализ водохозяйственной деятельности предприятия позволил выявить существующие недостатки, связанные, прежде всего, с утилизацией регенерационных растворов, которые не позволяют рационально использовать водные ресурсы [1]. Вместе с тем требует совершенствования и сам процесс водоподготовки, в части замены существующей загрузки ионообменных фильтров на эффективные и недорогие материалы, менее требовательные к подготовке очищаемой воды.

В указанном процессе наиболее строгие требования предъявляются к содержанию общей жесткости, которая вызывает отложение накипи на теплопередающих поверхностях, что приводит к выходу из строя оборудования. Подземные воды Алтайского края характеризуются повышенным содержанием солей жесткости (9-20 мг-экв/л), в то время как в воде, поступающей на подпитку котлов это значение не должно превышать 0,02 мг-экв/л [2].

Ранее проведенные исследования показали высокую эффективность умягчения воды с помощью бентонитовых глин и материалов на их основе [3]. С целью снижения гидравлического сопротивления полученных материалов при использовании в динамических условиях было предложено нанесение бентонитовой глины на каркас из пенополиуретана. Для восстановления сорбционной способности данного сорбента была проведена его регенерация 5%-м раствором гидрокарбоната натрия. На исходном и регенерированном сорбенте изучена эффективность извлечения ионов жесткости с начальной концентрацией 10 мг-экв/л в зависимости от удельного объема раствора ( $V_{уд}$ ), представленная на рис.1.

Как видно из рис.1, при фильтровании через чистый сорбент наблюдается максимальная эффективность 76%, после первой регенерации - 90%, в дальнейшем она снижается с каждой последующей регенерацией. Одновременно с этим наблюдается увеличение объема пропущенного раствора.

Проведенные исследования по регенерации материала раствором карбоната натрия показали высокую степень восстановления его сорбционных свойств по ионам жесткости. Следовательно, данный материал может быть использован неоднократно.

На основании проведенных исследований было определено время защитного действия фильтра и достижения полной динамической обменной емкости при умягчении воды с начальной жесткостью 10 мг-экв/л (табл.1).

Как видно, проведение регенераций увеличивает время защитного действия фильтра и достижения полной динамической обменной емкости фильтра, что может быть объяснено дополнительной активацией сорбента в процессе его контакта с карбонатом натрия.

Таблица 1  
Временные характеристики работы фильтра

Количество регенераций	Время, мин	
	защитного действия фильтра	достижения полной динамической обменной емкости
0	17	108
1-я	37	110
2-я	39	115
3-я	47	221
4-я	48	140

Эффективность использования сорбента в динамических условиях определяется, в частности, величиной полной динамической обменной емкости, исследование которой проводили по ГОСТ 20255.2-89 [4]. Методика включает в себя последовательные операции насыщения, регенерации и отмывки сорбента, загруженного в колонку. При этом фильтрат собирается порциями по 100 мл, для каждой определяется концентрация солей жесткости. Раствор пропускают до выравнивания концентраций фильтрата и рабочего раствора, после чего сорбент регенерируют и промывают. Определение заканчивают, если в двух последних циклах были получены результаты, расхождение между которыми не превышает 5% от среднего.

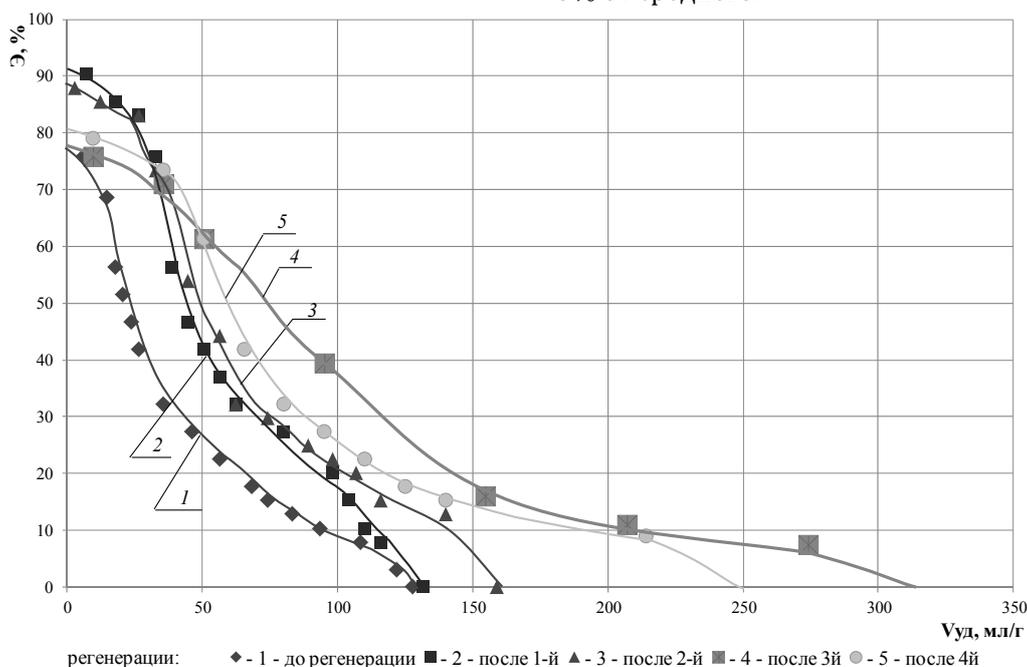


Рис.1. Зависимость эффективности извлечения (Э) ионов жесткости от удельного объема пропускаемого модельного раствора ( $V_{уд}$ ).

В табл.2 приведен сравнительный анализ исследованного материала и наиболее часто используемого в практике водоподготовки ионита КУ-2-8.

Таблица 2  
Сравнительный анализ материалов

Исследуемые материалы при регенерациях		Максимальный эффект очистки Э, %	Полная динамическая обменная емкость, D <sub>п</sub> , мг-экв/г
бентонит на пенополиуретане	0	76	0,34
	1-я	90	0,51
	2-я	88	0,62
	3-я	76	0,84
КУ-2-8	0	85	0,45
	1-я	82	0,44
	2-я	84	0,45
	3-я	80	0,43
4-я	81	0,44	

Как видно из табл.2, катионит КУ-2-8 обладает стабильностью в определяемых показателях, в то же время для материала на основе пенополиуретана характерно увеличение полной динамической емкости с ростом числа регенераций. При этом значение емкости у разработанного сорбента после регенераций пре-

восходят аналогичные значения у катионита КУ-2-8. Таким образом, предлагаемый материал не уступает по своим эксплуатационным характеристикам традиционно применяемым катионитам и может быть рекомендован к внедрению в практике водоподготовки.

По результатам экспериментальных исследований был предложен вариант усовершенствования технологической схемы очистки артезианских вод от ионов кальция и магния на ООО «Барнаул РТИ» с использованием нового материала на основе пенополиуретана, модифицированного содоактивированным бентонитом Милоского месторождения (рис.2).

Исходная вода насосом 3 через подогреватель 2 подается в механический фильтр 4, который загружен базальтовым волокном. После удаления механических примесей (песок, взвешенные вещества), осветленный поток поступает на умягчение в фильтр первой ступени 7, заполненный предложенным сорбентом. Оттуда часть потока воды отбирается на горячее водоснабжение, а основной поток поступает на вторую ступень умягчения в фильтр 9. Затем вода подается в теплообменник 2 и далее в дегазатор, откуда питательным насосом через экономайзер направляется в котел.

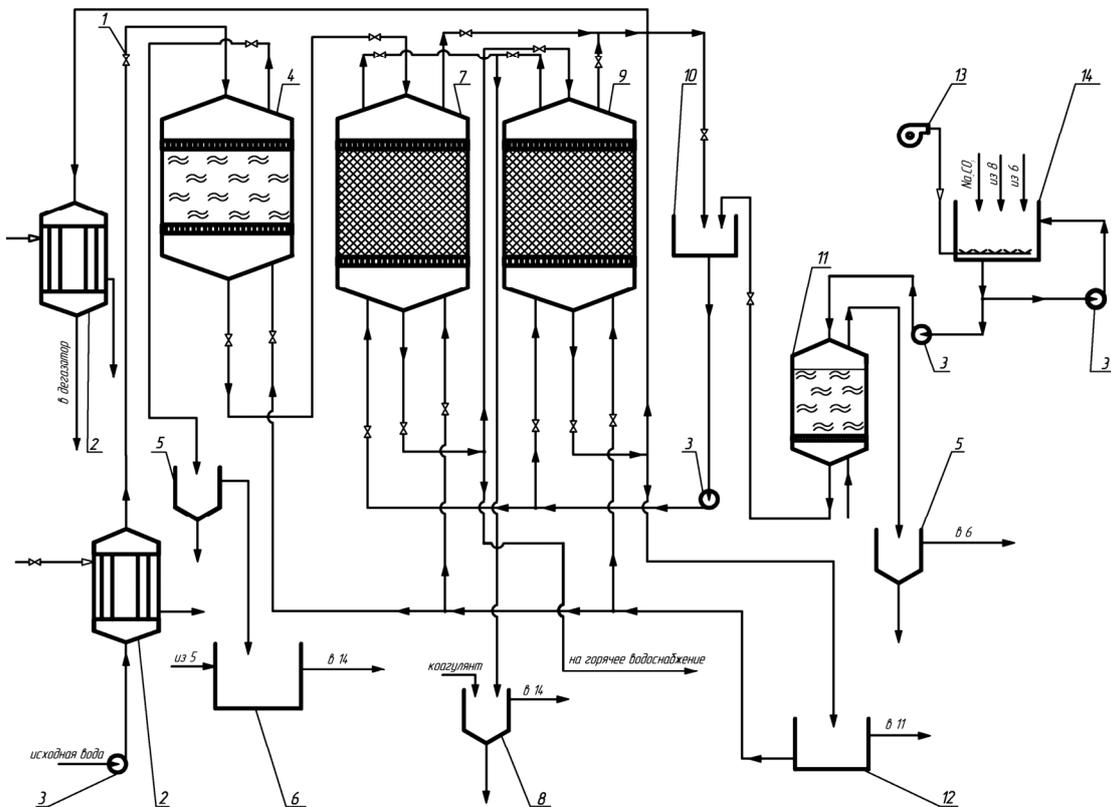


Рис.2. Технологическая схема подготовки артезианской воды.

- 1 – вентиль; 2 – подогреватель; 3 – насос; 4 – механический фильтр; 5 – отстойник; 6 – емкость; 7 – фильтр умягчения 1 ступени; 8 – отстойник; 9 – фильтр умягчения 2 ступени; 10 – расходный бак; 11 – механический фильтр очистки соды; 12 – бак запаса; 13 – воздуходувка; 14 – растворный бак.

Часть умягченной воды накапливается в баке запаса 12 и используется в дальнейшем для взрыхляющей промывки механического и отмывки фильтров умягчения первой и второй ступеней. Взрыхляющая вода от промывки механических фильтров содержит только взвешенные вещества, поэтому ее целесообразно отводить отдельно в отстойник 5, из которого осветленная вода поступает в емкость 6 и далее в полном объеме используется для растворения соды в емкости 14.

Регенерация ионообменных фильтров проводится 0,5% раствором соды, предварительно очищенным от механических примесей в фильтре 11. Очищенный раствор соды подается в расходный бак 10, где разбавляется осветленной водой до необходимой концентрации.

Отработанный регенерационный раствор отводится в отстойники-смесители 8, в которые дозируется коагулянт с целью выделения нерастворимого осадка солей кальция и магния. Оставшийся в виде раствора карбонат натрия может вновь использоваться для приготовления регенерационных растворов, что делает поток по нему практически замкнутым.

После регенерации ионообменного фильтра осуществляется его отмывка водой из емкости 12 для удаления продуктов регенерации (карбонатов магния и кальция) и соды. Вода после отмывки используется для приготовления раствора соды в баке 10.

Предложенная технологическая схема отличается от существующей на ООО «Барнаул РТИ» реализацией следующих мероприятий:

1. Заменой сульфогля в механическом фильтре для осветления воды на базальтовое волокно.

2. В качестве загрузки для ионообменных фильтров используется материал на основе пенополиуретана и бентонита.

3. Вода от взрыхления механического фильтра после отстаивания идет на приготовление раствора соды.

4. Отработанный регенерационный раствор повторно используется после корректировки его состава.

На основании проведенных исследований была усовершенствована технологическая схема водоснабжения котельной ООО «Барнаул РТИ» с заменой сорбента, которая позволит сократить потребление свежей воды, уменьшить эксплуатационные затраты на водоочистку и снизить использование реагентов.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Черкасов А.С., Сомин В.А., Комарова Л.Ф. Анализ водохозяйственной деятельности предприятия ООО «Барнаул РТИ» // Ползуновский вестник. 2011. №4-2. С.105-107.

2. ГОСТ 20995-75. Котлы паровые стационарные давлением до 3,9 МПа. Показатели качества питательной воды и пара.

3. Сомин В.А., Куртукова Л.В., Комарова Л.Ф. Определение сорбционных свойств материала для умягчения воды в динамических условиях // Вестник алтайской науки. 2013. №2-2. С.234-236.

4. ГОСТ 20255.2-89. Иониты. Методы определения динамической обменной емкости: Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 16 с.

## THE IMPROVEMENT OF THE WATER TREATMENT SYSTEM FOR A FACTORY THROUGH THE IMPLEMENTATION OF NEW COMPOSITE SORBENTS

A.S. ChERKASOV, Eng.

L.V. KURTUKOVA, Ph.D. (Tech.)

V.A. SOMIN, Ph.D. (Tech.)

L.F. KOMAROVA, D.Sc. (Tech.)

Polzunov Altai State Technical University, 46, Lenin Prospect, Barnaul, Altai Krai, 656038, Russia

**Abstract.** The existing problems of preparing make-up water for boilers and the heat supply systems at the factories are reviewed, which bound up with holding of a reagent facility and formation of large amount of the polluted water. The possibilities of application of the new sorption bentonite clay material for the water softening are represented. It is showed the experimental data for the researching of the sorption properties of the resulting material and the possibilities of its reactivation. It is proposed the possible ways of the existing water treatment scheme of the factory with using new sorbent. According to the results of experimental studies has been proposed a method of improvement of technological purification artesian water from ions of calcium and magnesium with the use of new materials based on polyurethane, modified soda activated bentonite.

**Key words:** water treatment, water softening, groundwater, boiler installation, ion exchange filters.

#### REFERENCES.

1. Cherkasov A.S., Somin V.A., Komarova L.F. Analiz vodokhozyaistvennoi deyatel'nosti predpriyatiya ООО «Barnaul RTI» // Polzunovskii vestnik, 2011, No.4-2, P.105-107.

2. GOST 20995-75. Kotly parovye statsionarnye davleniem do 3,9 MPa. Pokazateli kachestva pitatel'noi vody i para.

3. Somin V.A., Kurtukova L.V., Komarova L.F. Opredelenie sorbtsionnykh svoistv materiala dlya umyagcheniya vody v dinamicheskikh usloviyakh // Vestnik altaiskoi nauki, 2013, No.2-2, P.234-236.

4. GOST 20255.2-89. Ionity. Metody opredeleniya dinamicheskoi obmennoi emkosti: Sb. GOSTov. – Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov, 2002, 16 p.

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЦЕОЛИТОВОЙ ПОРОДЫ В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД ОТ ФТОРИД-ИОНОВ

З.И. ГУБОНИНА<sup>1</sup>, д.т.н., профессор

Н.Ф. ТАРЧИГИНА<sup>1</sup>, к.т.н., профессор

О.Е. ХАРИЧЕВ<sup>2</sup>, главный технолог

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», 107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38

<sup>2</sup>ОАО «Дорогобуж», 215753, Смоленская обл., Дорогобужский р-н, п. Верхнеднепровский

**Аннотация.** Возрастающие требования к качеству воды, особенно для хозяйственно-питьевых целей, повышению эффективности действующих и снижению стоимости проектируемых очистных сооружений определяют разработку комплексного использования сырья, новых технологических процессов, фильтрующих материалов и реагентов. Очистка природных вод и использование их в обороте является важнейшей составляющей этой проблемы. Поэтому остро стоит вопрос поиска новых материалов, сочетающих в себе полезные сорбционные и фильтрационные свойства. В статье изложены условия трансформации природного цеолита, являющегося катионитом, в анионит, путем обработки исходного цеолита серной кислотой с последующей термической обработкой. Определена динамическая обменная емкость полученного продукта по отношению к фторид-ионам.

**Ключевые слова:** цеолит, реагент, сорбция, фторид-ионы, водоподготовка, фильтрующие материалы, обесфторивание воды, модификатор.

Развитие промышленности, рост городов требуют увеличения потребления большого количества природных вод, в то время как запасы воды, удовлетворяющие нормативным требованиям, ограничены. Одним из лимитирующих показателей качества природных вод является содержание в них фторид-ионов, поскольку повсеместное распространение растворимых фторсодержащих соединений в породах и почвах обуславливает наличие их в природных водах, используемых для питьевого водоснабжения. Согласно требованиям, предельно допустимое содержание фторид-ионов в питьевой воде установлено на уровне 1,5 мг/л. Оптимальной считается концентрация около 1 мг/л, при большем содержании необходимо обесфторивание воды. В природные воды фтор попадает в основном за счет вымывания его из горных фторсодержащих пород: криолита, биотита, мусковита, фосфоритов, плавикового шпата. Чем больше фтора присутствует в минералах, тем выше его концентрация в воде. Вымывание фтора из водовмещающих пород зависит от химического состава водных растворов. Повышенное содержание карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) обычно подавляет миграцию фтора. С увеличением концентрации карбоната и гидрокарбоната натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{NaHCO}_3$ ) содержание фтора в воде возрастает. Это связано с тем, что наиболее часто фтор присутствует в гидрокарбонатных содовых водах. Фтор также может попадать в природные воды со стоками ряда промышленных предприятий. При этом снижение концентрации фтора в воде осуществ-

ляется только за счет разбавления, так как естественного самоочищения от ионов фтора не происходит. Обычные методы осаждения фторид-ионов, в виде малорастворимых осадков для очистки питьевой воды от фтора не могут быть применены вследствие того, что растворимость фторидов во много раз превышает допустимую концентрацию фтора в питьевой воде.

Существующие в настоящее время методы очистки воды объединяются в две основные группы. Первая включает в себя методы ионного обмена на селективных в отношении фтора ионитах - активированной окиси алюминия, гидроксилпатите, сильноосновных анионитах, а также магнезиальных сорбентах и активированных углях. Методы ионного обмена являются более эффективными при очистке подземных вод, не нуждающихся в других видах очистки. Ко второй группе относятся сорбционные методы. Они основаны на сорбции фтора свежевыделенными осадками гидроокиси магния, алюминия и фосфатом кальция. Сорбционные методы целесообразно применять для поверхностных вод, когда одновременно требуется осветление и обесцвечивание воды. Они также могут быть использованы и для очистки подземных вод в случае необходимости одновременного умягчения.

Сорбенты, используемые при очистке питьевых вод, должны отвечать целому ряду нормативных требований основными из которых являются технологичность и безопасность их применения. Исходная вода после контакта с материалом не должна обогащаться токсич-

ными элементами. Вводимые сорбенты должны легко удаляться из обработанной воды технически простыми приемами (например, отстаиванием или фильтрованием). При использовании сорбентов в качестве фильтрующих материалов они должны обладать определенным гранулометрическим составом, удовлетворительной механической прочностью и химической стойкостью по отношению к агрессивным средам. Кроме того, применение сорбентов должно быть экономически оправдано. Их стоимость с учетом разработки, подготовки и транспортировки не должна быть слишком высокой, а имеющиеся запасы природных сорбентов должны быть достаточными для промышленного использования. Сорбенты, подвергающиеся последующей модификации (т.е. обработке кислыми или щелочными растворами) должны обладать определенной сорбционной способностью по отношению к реагенту-модификатору и соединениям, образующимся при взаимодействии модификатора с ионами. Извлечение микроэлементов из воды на модифицированных сорбентах происходит за счет образования труднорастворимых или прочных комплексных соединений и закрепления их на сорбентах. Вследствие малой сорбционной емкости по фтору, снижения активности в процессе эксплуатации, низкой механической прочности, длительного периода регенерации, дорогостоящего и ограниченного выпуска большинство фторселективных фильтрующих материалов не используется.

Наиболее перспективным материалом применяемым, для повышения качества воды следует, считать природные цеолиты - минералы из группы водных алюмосиликатов щелочных и щелочноземельных элементов вулканическо-осадочного происхождения с тетраэдрическим структурным каркасом, включающим полости, занятые катионами и молекулами воды. Цеолиты - алюмосиликаты с каркасной структурой, в которой имеются полости, занятые большими ионами и молекулами воды, причем и те, и другие характеризуются значительной подвижностью, что обеспечивает возможность ионного обмена и обратимой дегидратации. Каркасная структура построена из соединенных вершинами тетраэдров, в которых малые атомы лежат в центрах тетраэдров и атомы кислорода - в их вершинах. Роль больших ионов в полостях природных цеолитов выполняют одно- и двух-зарядные катионы Na, Ca, K, Mg, Ba, содержание которых зависит от геохимического состава среды мине-

ралообразования и распределения элементов между кристаллизующимися минералами. Специфические же свойства клиноптилолита: большая удельная поверхность, молекулярно-ситовое действие, высокая селективность к полярным молекулам, способность к сорбции и ионообмену, позволяют использовать его и при дефторировании воды, и как наполнитель для получения композиционных материалов.

Преимуществами цеолитов по сравнению с другими сорбентами является, прежде всего, их природное происхождение, дешевизна, доступность добычи и обработки, значительные запасы в России и других странах, уникальный комплекс технологических свойств - сорбционных, ионообменных, молекулярно-ситовых. Одним из перспективных направлений в технологии водоподготовки и обесфторивании природных вод является возможность модификация цеолитов - нанесение на сорбенты новых молекулярных групп, способных извлекать из воды нежелательные загрязнения. В отличие от кристаллогидратов, выделяющих значительные количества воды при нагреве, цеолиты поглощают и выделяют не только воду, но и другие различные молекулы без изменения кристаллической структуры. К тому же поглощение цеолитами в отличие от координационного связывания в кристаллогидратах связано с явлением адсорбции. Катионы и молекулы воды слабо связаны с каркасом и могут быть частично или полностью замещены путем ионного обмена и дегидратации, причем обратимо, без разрушения каркаса цеолита. Лишенный воды цеолит, представляющий собой микропористую кристаллическую «губку», объем пор, в которой составляет, до 50% объема каркаса цеолита является высокоактивным адсорбентом. Диаметр входных отверстий имеет строго определенные размеры. В связи, с чем происходит так называемый молекулярно-ситовый отбор при сорбции молекул из газа в жидкости.

Ионообменные свойства цеолитов определяются особенностями химического средства ионов с кристаллической структурой. При этом так же, как и при адсорбции молекул, необходимо соответствие размеров входных отверстий. Ионным обменом на цеолитах удается выделять ионы, извлечение которых другим методом часто представляет большую сложность. Ионситовый эффект позволяет адсорбировать из газовых и жидких систем пары азота, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Cl<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>. Установлена способность цеолитов адсорбировать радио-

активные ионы цезия из растворов, удалять  $\text{NH}_4^+$  из сточных вод и водоемов, извлекать ионы Cu, Pb, Zn, Cd, Ba, Co, Ag и других металлов из промышленных сточных вод, очищать природные газы. Емкость поглощения цеолитов в 30 раз выше, чем у ионообменных смол.

Особо ценной разновидностью цеолитов являются клиноптилолиты: высококремнистый цеолит с соотношением кремнезема к глинозему от 3,5 до 10,5 и содержащий в среднем 60% двуокиси кремния с диаметром входных окон в полости - 0,4 нм и кристаллической решеткой, состоящей из тетраэдров  $\text{SiO}_4$  и  $\text{AlO}_4$ , которые образуют основную структуру кристалла. Специфические свойства клиноптилолита: большая удельная поверхность, молекулярно-ситовое действие, высокая селективность к полярным молекулам, способность к сорбции и ионообмену, позволяют использовать его при дефторировании воды, и как наполнитель для получения композиционных материалов. Цеолиты используют в промышленности, сельском хозяйстве для очистки питьевых, технических и природных вод. Однако, несмотря на большой интерес, вызванный к цеолитам методы модифицирования - недостаточно изучены.

Целью исследований явилось изучение возможности использования дробленой модифицированной цеолитовой породы в технологии очистки природных вод от фторид-ионов. Предстояло изучить: влияние на цеолитсодержащие породы, серной кислоты разной концентрации; рентгенографическим методом химический состав и физико-механические свойства цеолита. Определить оптимальный выбор различных температурных и временных режимов термической обработки пород, для повышения их сорбционной активности и ёмкости. Исследовать процессы сорбции фторид-ионов модифицированными цеолитсодержащими породами.

Объектом исследования явился цеолит, который представляет собой легкую твердую породу светло-серого цвета с содержанием порообразующего минерала - 40% со следующим химическим составом по отношению Si/Al (табл.1).

Физические и механические свойства изучаемого цеолита с плотностью 2,0 г/см<sup>3</sup>; объемной массой 1100 кг/м; пористостью 47,87%; истираемостью 0,48% и измельчаемостью 1,5% показывают, что его вполне можно использовать в процессах водоподготовки в качестве зернистого фильтрующего слоя. Высокая межзерновая пористость цеолита по сравнению с кварцевым песком позволяет обеспечить уменьшение темпа прироста напора и, следовательно, увеличить продолжительность цикла фильтрования и удельную нагрузку. С другой стороны, меньшая плотность и объемная масса цеолитов дает возможность использовать более низкую интенсивность промывки фильтра. Повышенное значение истираемости исследуемого цеолита объясняется вымыванием из данного материала глинистых примесей.

Исследовательская работа состояла из двух экспериментов. В модельную фильтрационную колонку помещали исследуемый объект после различных режимов модификации. Модификатором являлась серная кислота различной концентрации (10-30%). Обработку производили следующим образом: объект размельчали и обрабатывали раствором серной кислоты в соотношении 1:1 по массе. По истечении одних суток, необходимых для протекания химических реакций, смесь подвергали термической обработке при различной температуре 400-600 °С в течение 1-3 часов. Затем полученный продукт резко охлаждали и определяли гранулометрический состав путем ситового анализа (фракция гранул d=1-2 мм). Через колонку пропускали со скоростью 50 мл/ч раствор фторида натрия (NaF) в объёме около 15 л. Через каждые 500-1000 мл в элюите определяли концентрацию фтора.

По полученным экспериментальным данным построены трёхмерные диаграммы зависимости полной динамической обменной емкости (ПДОЕ) сорбента от прошедшего объема NaF при использовании различной концентрации серной кислоты в модификации цеолита при температуре прокаливания 400, 500, 600 °С и времени прокаливания 1, 2, 3 часа. Пример одной из диаграмм представлен на рис.1.

Таблица 1

Химический состав цеолита (в % по массе сухого вещества)

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Прочие	Σ	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
59,46	0,48	8,98	4,37	10,64	1,84	0,82	2,0	12	100,5	6,62

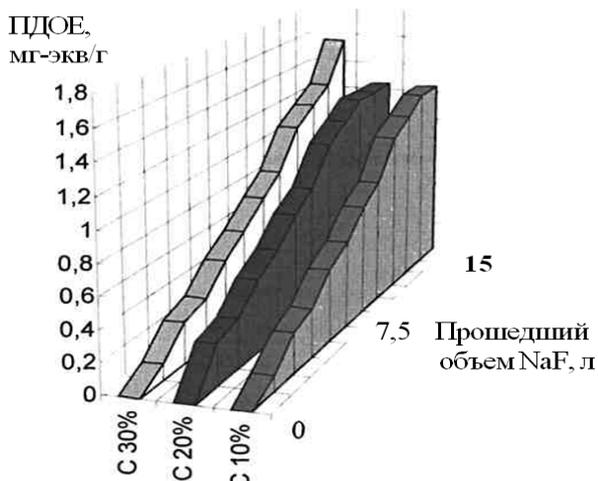


Рис.1. Зависимость ПДОЕ сорбента от прошедшего объема NaF при использовании различной концентрации серной кислоты в модификации цеолита (температура прокаливания 600 °С, время прокаливания 1 час).

Анализируя графики зависимости динамической емкости от исследуемых факторов видно, что характер кривых для всех промежутков времени прокаливания, температуры и концентрации идет по нарастающей. Прокаливание в течение 1-2 часов дает одинаковый результат, а увеличение времени прокаливания до 3 часов повышает ПДОЕ на 0,1-0,2 мг-экв/г. Увеличение температуры прокаливания при прочих одинаковых условиях равномерно увеличивает ПДОЕ сорбента. Можно заметить, что при увеличении значений модифицирующего реагента от 10 до 30%, емкость сорбента независимо от температуры и времени прокаливания достигает оптимального результата. Таким образом, можно сделать вывод о том, что на увеличение ПДОЕ модифицированных цеолитсодержащих пород по фторид-иону в большей степени, влияет концентрация модификатора, чем температура и время прокаливания. Наибольшая ПДОЕ до 1,7 мг-экв/г, достигается при использовании комплексной обработки цеолитсодержащего композита при температуре 600 °С, времени прокаливания 3 часа и концентрации серной кислоты 30%.

Далее проводили количественный рентгенографический фазовый анализ до и после сорбции модельного раствора NaF рентгенофлуоресцентным методом (РФА), основанном на сборе и последующем анализе спектра, полученного путём воздействия на исследуемый материал рентгеновским излучением. Исследования проводились на приборе Axios Advanced, который является рентгенофлуоресцентным спектрометром с одним гонио-

метрическим измерительным каналом, работающим в полном диапазоне измерений и имеющий возможность анализа различных образцов.

Анализ рентгенограмм после обработки природных цеолитов концентрированной кислотой показывает образование совершенно нового по составу вещества, о чем свидетельствует появление рефлексов, относящихся к таким веществам как  $\text{CaSO}_4$  ( $d=3,47; 2,83; 2,31; 1,64 \text{ \AA}$ ),  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  ( $d=3,47; 3,31; 2,2; 1,3 \text{ \AA}$ ) (рис.2).

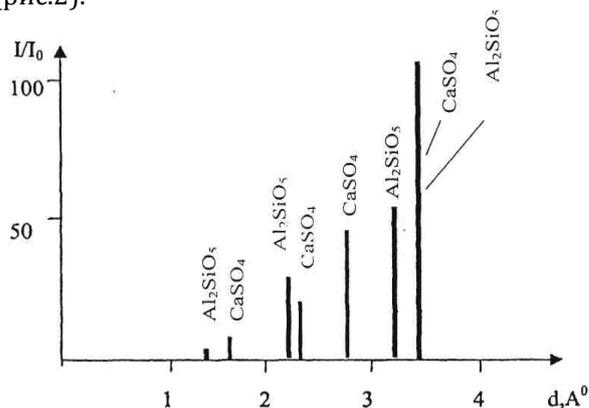
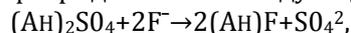


Рис.2. Рентгенограмма модифицированной цеолитсодержащей породы.

Так как при прокаливании происходит уменьшение числа дефектов в кристаллической решетке, то это приводит к незначительному уменьшению параметров решетки, а, следовательно, и межплоскостных расстояний. Кроме того, наличие рефлекса при  $d=3,47 \text{ \AA}$  для  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  может свидетельствовать о наложении их друг на друга. После пропускания через модифицированную загрузку раствора фторида натрия получаем, что данные рефлексы либо отсутствуют, либо значительно ослаблены, и их трудно идентифицировать. Протекание химических реакций, приводит к образованию новых веществ -  $\text{CaAlF}_5$  ( $d=4,05; 3,51; 3,15; 1,98 \text{ \AA}$ ),  $\text{CaSiF}_6$  ( $d=3,85; 2,27 \text{ \AA}$ ), что говорит об ионообменной способности данного сорбента (рис.3).

Необходимо отметить, что состав полученного сорбента до конца не идентифицирован, однако, можно точно сказать, что в его состав, наряду с оксидами кремния и его соединениями входят сульфаты различных металлов, которые участвуют в ионообменной сорбции фторид-ионов по следующей схеме:



где An - активированная цеолитсодержащая порода, «заряженная» при специальной обработке сульфат-ионами, которые сорбент обменивает на ионы раствора.

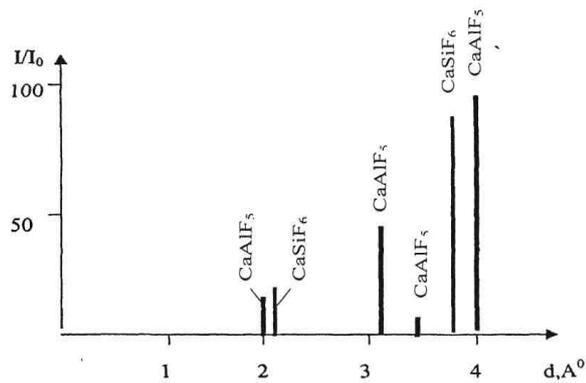


Рис.3. Рентгенограмма модифицированной цеолитсодержащей породы после пропускания раствора NaF.

Проведенные исследования и эксперименты, показали, что изменение химических показателей раствора в процессе фильтрации через модифицированную загрузку носит однотипный характер. Применяя различные параметры (температура прокаливания, концентрация кислоты, время прокаливания) на ПДОЕ цеолитсодержащих пород максимально влияет концентрация модификатора, увеличивая емкость на 0,3 мг-экв/г, но наибольшая ПДОЕ достигается при использовании комплексной обработки цеолитсодержащего композита при выбранных условиях (температура 600 °С,

время 3 часа, концентрация серной кислоты 30%) до 1,7 мг-экв/г. При анализе рентгенограмм, полученных до и после обработки природных цеолитов концентрированной кислотой, образование совершенно нового по составу вещества, указывает об ионообменной способности данного сорбента. На основании проведенных испытаний можно рекомендовать использовать в очистке природных вод от фторид-ионов модифицированные цеолитсодержащие породы (с выбранными режимами модификации), преимуществом которых является, прежде всего, значительная ПДОЕ.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Челищев Н.Ф., Володин В.Ф., Крюков В.Л. Ионообменные свойства природных высококремнистых цеолитов.- М.: Наука, 1988. 128 с.
2. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод.- М.: НИИ КВОВ, 2005. 571 с.
3. Гандурина Л.В. Очистка сточных вод с применением синтетических флокулянтов.- М.: «Дар/ВОДГеО», 2007. 198 с.
4. Карабаев Г.В., Тарчигина Н.Ф. Рентгенофлуоресцентный метод анализа проведения экологического мониторинга почв // Новые технологии. 2009. №2.
5. Калыгин В.Г. Промышленная экология: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений.- М.: Академия, 2010. 432 с.

## EXPLORE THE USE OF A MODIFIED ZEOLITE MATERIAL IN NATURAL WATER PURIFICATION TECHNOLOGY OF FLUORINE IONS

Z.I. GUBONINA<sup>1</sup>, D.Sc. (Tech.)

N.F. TARCHIGINA<sup>1</sup>, Ph.D. (Tech.)

O.E. KHARICHEV<sup>2</sup>, Eng.

<sup>1</sup>Moscow State Technical University "MAMI", 38, B. Semenovskaya Str., Moscow, 107023, Russia

<sup>2</sup>Dorogobuzh, Verkhnedneprovsky Settlement, Dorogobuzh district, Smolensk region, 215753, Russia

**Abstract.** Increasing demands on the quality of water, especially for drinking purposes, improve efficiency and reduce the cost of operating the designed treatment facilities predetermine the development of the integrated use of raw materials, new processes, filter materials and reagents. Purification of natural waters and their use in the back is an essential part of this problem. Therefore, an urgent need to search for new materials that combine the useful sorption and filtration properties. The article describes the conditions of the transformation of natural zeolite, which is a cation exchange resin, in anion exchange resin by treatment of the initial zeolite with sulfuric acid and subsequent heat treatment. Defined dynamic exchange capacity of the obtained product in relation to fluoride ions.

**Key words:** zeolite, reagent, sorption, fluoride-ions, water treatment, filter media, defluorination of water, modifier.

#### REFERENCES.

1. Chelishchev N.F., Volodin V.F., Kryukov V.L. Ionoobmennye svoystva prirodnykh vysokokremnistykh tseolitov.- Moscow, Nauka, 1988, 128 p.
2. Draginskii V.L., Alekseeva L.P., Getmantsev S.V. Koagulyatsiya v tekhnologii ochistki prirodnykh vod.- Moscow, NII KVOV, 2005, 571 p.
3. Gandurina L.V. Ochistka stochnykh vod s primeneniem sinteticheskikh flokulyantov.- Moscow, «Dar/VODGeO», 2007, 198 p.
4. Karabaev G.V., Tarchigina N.F. Rentgeno-fluorestsentnyi metod analiza provedeniya ekologicheskogo monitoringa pochv // Novye tekhnologii, 2009, No.2.
5. Kalygin V.G. Promyshlennaya ekologiya: Uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedenii.- Moscow, Akademiya, 2010, 432 p.

## ОПТИМИЗАЦИЯ БЕСКОНТАКТНОГО МЕТОДА ПОТЕРЬ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ДВУХКАНАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

О.В. ИЛЬИН, аспирант

Е.А. ПОПОВ, д.ф.-м.н., профессор

В.К. ИЛЬИН, д.т.н., заведующий кафедрой

ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет», 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51

**Аннотация.** Рассматриваются подходы для оптимизации бесконтактного метода потерь при измерении проводимости технической воды с помощью двухканального трансформаторного преобразователя. Устройство включает термостат и систему контроля скорости электролита, что позволяет выполнять как лабораторные, так и непрерывные измерения. В ходе проводимых исследований находятся диапазоны, в которых амплитуда выходного напряжения в каждом канале преобразователя пропорциональна частоте питающего гармонического сигнала. Коэффициенты пропорциональности, являющиеся чувствительностями преобразователя в линейном режиме, определяются величинами проводимости и, следовательно, ионным составом водного носителя в жидкостных контурах обоих каналов.

**Ключевые слова:** многокомпонентная ионная среда, бесконтактный метод потерь, трансформаторный преобразователь, сигнал выходного напряжения.

Качественная водоподготовка является необходимым условием для нормального функционирования сетей тепло-, водоснабжения и водоочистки, а также циклов производства питательной среды для котельных установок. Несоблюдение нормативных правил в подготовительном периоде может активизировать нежелательные химические реакции в рабочем растворе и на границе рабочий раствор/внутренняя стенка трубопровода, что приведет к усилению процессов образования накипи, отложений и коррозии, которые будут причиной перерасхода энергоресурсов и сокращения сроков эксплуатации оборудования [1]. Известно, что для решения данных проблем проводится регулярный мониторинг химического состава водного потока, поступающего в рабочий трубопровод. В рамках потенциометрического или кондуктометрического методов это можно сделать либо непрерывным образом (измерительная система интегрирована в трубопровод через отводную линию (bypass line)), либо в лабораторных условиях. Если требуется высокая точность в определении ионной концентрации отдельных компонентов водного электролита, то используется более медленный потенциометрический метод, в котором определяется зависимость мембранного потенциала ионоселективного электрода от концентрации отдельного иона в растворе. Если же на первое место выходит оперативность мониторинга, то предпочтение отдается менее точному кондуктометрическому методу, в котором измеряется зависимость электропроводности (ЭП) водного электролита от суммарной ионной концентрации в нем. В кондуктометрии существует два подхода: в контактном (применяет-

ся, например, для контроля качества теплоносителя на ТЭС) рабочий электролит соприкасается с электродами измерительной ячейки, в бесконтактном (применяется для контроля качества технической воды в замкнутых циклах тепло-, водоснабжения и водоочистки) электроды не интегрированы в рабочий участок измерительной ячейки, поэтому их гальванический контакт с анализируемым раствором отсутствует. Понятно, что кондуктометрический метод станет ещё более востребованным, если повысить точность определения ЭП за счёт совершенствования измерительного устройства (ИУ) и оптимизации методов измерений и обработки их результатов. Как известно, схемы с источником переменного тока позволяют значительно уменьшить приборную погрешность за счёт частичной компенсации ёмкостных эффектов на поверхности регистрирующих электродов и на рабочем участке ИУ, а использование термостата – компенсировать влияние разброса температур анализируемого раствора. Поскольку качественная водоподготовка в замкнутых циклах тепло- и водоснабжения и водоподготовки является актуальной задачей энергоресурсосбережения, то с этой точки зрения вызывают интерес и вопросы оптимизации самого измерительного процесса в различных вариантах бесконтактного подхода. В данной работе мы остановимся на одной из них - трансформаторном методе или методе потерь.

**Двухканальный трансформаторный преобразователь.**

Этот метод может быть реализован на базе трансформаторного преобразователя (ТП), разработанного в [2]. ТП имеет два идентичных измерительных канала (сравнительный и

рабочий), которые на входе параллельно подсоединяются к источнику переменного тока. Каждый канал образуется связанной системой питающего, измерительного и согласующего воздушных трансформаторов с ферромагнитным сердечником. Жидкостной контур (полый диэлектрический ПВХ трубопровод, внутри которого в рабочем канале циркулирует анализируемый раствор, а в сравнительном – известный эталонный), формирует вторичную обмотку для питающего трансформатора и первичную для измерительного. Такой дизайн ИУ исключает гальванический контакт исследуемого электролита с проводящими обмотками трансформаторов и дополнительно ограничивает приборную погрешность. Для проведения непрерывного контроля анализируемого раствора предусматривается подсоединение рабочего жидкостного контура к водному резервуару через систему насоса с манометром в целях стабилизации скорости электролита.

Наличие двух измерительных каналов означает, что при нахождении неизвестного значения ЭП используется один из вариантов разностного метода [3], когда на выходе ТП измеряется и обрабатывается частотная зависимость разности сигналов напряжений  $\Delta U^{(вых)}(\omega) = U_I^{(вых)}(\omega) - U_{II}^{(вых)}(\omega)$  рабочего (I) и сравнительного (II) каналов. В этом случае удаётся исключить из рассмотрения систематическую погрешность измеряемой величины, и оставить только случайную составляющую.

**Частотная зависимость  $U_{(i)}^{(вых)}(\omega)$ .**

Частотная зависимость выходного напряжения рабочего и сравнительного каналов ТП строится с помощью эквивалентной электротехнической схемы трёх резонансно-связанных колебательных контуров [4] (рис.1) и имеет следующий вид:

$$U_{(i)}^{(вых)}(\omega) = \left| \frac{U^{(пит)}(\omega) \times Z_{21(i)} Z_{32(i)} Z_{H(i)}}{Z_{11(i)} (Z_{22(i)} Z_{33(i)} - Z_{32(i)} Z_{23(i)}) - Z_{12(i)} Z_{21(i)} Z_{33(i)}} \right|, \quad (1)$$

где  $U^{(пит)}(\omega)$  - фурье-образ питающего гармонического напряжения. В (1) комплексные импедансы  $Z_{... (i)}$  определяются стандартным образом:

$$Z_{11(i)} = R_{1(i)} + i(\omega L_{1(i)} - \frac{1}{\omega C_{1(i)}}),$$

$$Z_{12(i)} = Z_{21(i)} = i\omega M_{12(i)}, \quad Z_{23(i)} = Z_{32(i)} = i\omega M_{23(i)},$$

$$Z_{22(i)} = R_{2(i)} + i(\omega L_{2(i)} - \frac{1}{\omega C_{2(i)}}),$$

$$Z_{33(i)} = R_{3(i)} + i(\omega L_{3(i)} - \frac{1}{\omega C_{3(i)}}), \dots$$

Здесь  $R_{... (i)}$  - активные сопротивления составляющих колебательных контуров;  $C_{... (i)}, L_{... (i)}$  - реактивные;  $M_{... (i)}$  - постоянные взаимной индукции первичной и вторичной обмоток конкретных межконтурных трансформаторов. Известно, что измерительный процесс является наиболее оптимальным в линейном режиме работы любого преобразователя, когда искомые величины определяются с высокой точностью и достаточно просто могут быть проанализированы и интерпретированы. Если таковой существует, то в некотором частотном диапазоне  $\omega_1 \div \omega_2$  измеряемый выходной сигнал  $U_{и(i)}^{(вых)}(\omega)$  можно заменить приблизительным расчётным

$$U_{p(i)}^{(вых)}(\omega) = k_{p(i)} \cdot (\omega - \omega_1) + U_{и(i)}^{(вых)}(\omega_1), \quad (2)$$

где  $U_{и(i)}^{(вых)}(\omega_1)$  - амплитуда измеряемого выходного сигнала ТП на частоте  $\omega_1$ . Расчётная чувствительность  $k_{p(i)}$  каждого измерительного канала трансформаторного преобразователя определяется из (1) и задаётся выражением:

$$k_{p(i)} = \left| U^{(пит)}(\omega) \right| \frac{A_{(i)}}{B_{(i)} + C_{(i)} R_{2(i)} (n_{(i)}, V_{(i)}, T_{(i)})}, \quad (3)$$

где  $A_{(i)} = M_{12(i)} M_{23(i)} R_{3(i)}$ ;

$$B_{(i)} = R_{1(i)} R_{3(i)} L_{2(i)} + \frac{L_{1(i)} L_{2(i)}}{C_{3(i)}} + \frac{L_{1(i)} L_{3(i)}}{C_{2(i)}} + \frac{L_{2(i)} L_{3(i)}}{C_{1(i)}} - \frac{M_{23(i)} M_{32(i)}}{C_{1(i)}} - \frac{M_{12(i)} M_{21(i)}}{C_{3(i)}};$$

$$C_{(i)} = R_{1(i)} L_{3(i)} + R_{3(i)} L_{1(i)}.$$

В (3)  $n_{(i)}, V_{(i)}, T_{(i)}$  - концентрация, скорость и температура водного электролита в жидкостном контуре каждого измерительного канала ТП.

Из (2) следует, что нахождение неизвестного значения  $k_1(n_1)$  можно осуществить по простому алгоритму: 1. для эталонного раствора с известной концентрацией ионов  $n_{II}$  определяется линейный режим работы сравнительного канала ТП; 2. в частотном диапазоне  $\omega_1 \div \omega_2$  измеряется зависимость  $\Delta U_{и(i)}^{(вых)}(\omega)$ . Если это нуль, то справедливо равенство  $k_{p(I)} = k_{p(II)}$ .

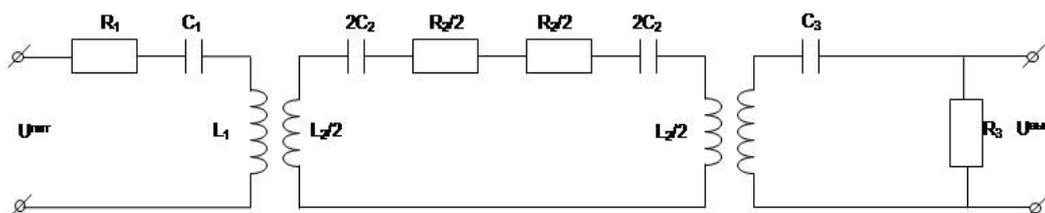


Рис.1. Эквивалентная электрическая схема каждого канала ТП.

Неизвестную суммарную концентрацию  $n_1$  можно получить: 1. с помощью заранее построенной калибровочной кривой  $k_1(n_1)$ ; 2. на основе прогнозирования, в том числе нейросетевого [5]; 3. с помощью математической модели исследуемого раствора, используя формулу (3). В последнем случае, сначала находится электропроводность анализируемого раствора  $G_{2(I)}(n_1) = \frac{1}{R_{2(I)}(n_1)}$  при известных параметрах ТП  $R_{1(I)}, R_{3(I)}, C_{..(I)}, L_{..(I)}$ . Затем определяется  $n_1$  с помощью уравнений Онзагера или Робинсона-Стокса [6]), которые справедливы для водных растворов с невысокой ионной концентрацией.

Построение калибровочной функции  $k_{p(II)}(n_{II})$ : результаты и анализ.

Наиболее простым будет способ нахождения интегральной ионной концентрации исследуемого водного раствора с помощью калибровочной функции  $k_{p(II)}$ . Её значения можно рассчитать по формуле:

$$k_{p(II)} = \frac{U_{и(II)}^{(вых)}(\omega_a) - U_{и(II)}^{(вых)}(\omega_1)}{\omega_a - \omega_1}, \quad (4)$$

которая не противоречит (3). Частота  $\omega_a$  выбирается исходя из того, чтобы относительная погрешность  $\delta = \frac{U_{p(II)}^{(вых)}(\omega) - U_{и(II)}^{(вых)}(\omega)}{U_{и(II)}^{(вых)}(\omega)}$  не пре-

вышла 5% во всём диапазоне  $\omega_1 \div \omega_2$ . В табл.1 приведены значения  $k_{p(II)}$ ,  $\omega_1 \div \omega_2$ ,  $\omega_a$  для четырёх эталонных водных растворов NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub> с концентрациями  $n_{II} = 1.25, 2.5, 5.0, 10.0 \frac{мг}{л}$ . Для дальнейшего

анализа аппроксимируем функцию  $k_{p(II)}$  полиномом 3-го порядка [7]

$$k_{p(II)}(n_{II}) = a_{II} \cdot n_{II}^3 + b_{II} \cdot n_{II}^2 + c_{II} \cdot n_{II} + d_{II}, \quad (5)$$

Подгоночные коэффициенты  $a_{II}, b_{II}, c_{II}, d_{II}$

	$a_{II}(\frac{мВ}{кгЦ} \cdot \frac{л^3}{мг^3})$	$b_{II}(\frac{мВ}{кгЦ} \cdot \frac{л^2}{мг^2})$	$c_{II}(\frac{мВ}{кгЦ} \cdot \frac{л}{мг})$	$d_{II}(\frac{мВ}{кгЦ})$
NaCl	$5,223 \cdot 10^{-4}$	-0,0092	0,0899	-0,0323
KCl	$8,65 \cdot 10^{-5}$	-0,0023	0,0602	0,0148
CaCl <sub>2</sub>	$-1,5848 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	0,0607	-0,0069
MgSO <sub>4</sub>	$2,5112 \cdot 10^{-4}$	-0,0062	0,093	-0,0504

так, чтобы подгоночная кривая проходила через экспериментальные точки калибровочной кривой  $k_{p(II)}(n_{II})$ .

Таблица 1  
Параметры линейного режима работы ТП, полученные из эксперимента

$n_{II}(\frac{мг}{л})$	1,25	2,5	5,0	10,0
$k_{pNaCl(II)}(\frac{мВ}{кгЦ})$	0,0667	0,143	0,252	0,467
$k_{pKCl(II)}$	0,0867	0,1525	0,27	0,477
$k_{pCaCl_2(II)}$	0,07	0,1475	0,297	0,522
$k_{pMgSO_4(II)}$	0,0567	0,1475	0,292	0,515
$\omega_1 \div \omega_2$ (кГц)	2÷7	2÷8	2÷10	2÷11
$\omega_a$ (кГц)	5	6	8	8

В табл.2 приведены значения коэффициентов при степенях полинома (5). Анализ показывает, что в зависимости от ионной концентрации конкретного водного раствора можно варьировать максимальную степень полинома  $k_{p(II)}(n_{II})$  с целью повышения достоверности результатов измерений. Так, если концентрация водного раствора NaCl лежит в интервале 1,25÷2,3 мг/л, то калибровочную функцию (5) можно заменить на более простую квадратичную зависимость  $b_{II} \cdot n_{II}^2 + c_{II} \cdot n_{II} + d_{II}$  с точностью до величины измерительной погрешности ТП. Такое же действие будет справедливо и для водного раствора KCl с той лишь разницей, что  $n_{II}$  меняется в интервале 1,25÷5,5 мг/л. Более того, (5) сведётся к линейной зависимости  $c_{II} \cdot n_{II} + d_{II}$ , если концентрация вещества в растворе составит 1,25÷1,55 мг/л. Для водного электролита CaCl<sub>2</sub> линейная зависимость  $k_{p(II)}(n_{II})$  справедлива в интервале концентраций 1,25÷4,3 мг/л и переходит в квадратичную в интервале 4,3÷7,4 мг/л. Наконец, для водного раствора MgSO<sub>4</sub>, калибровка (5) будет квадратичной в интервале 1,25÷3,4 мг/л и кубической - при дальнейшем росте  $n_{II}$ .

Таблица 2

### Дискуссия.

Разумеется, что проведённый анализ можно обобщить на случай многокомпонентных водных электролитов, к коим относится и техническая вода, используемая в системах тепло-, водоподготовки и водоочистки. Однако, в этом случае он будет более комплексным так как максимальная амплитуда и форма сигнала выходного напряжения ТП в каждом измерительном канале определяется суммарным вкладом отдельных ионных составляющих контролируемого водного раствора. Если измеряемые параметры недостаточны большие, чтобы сделать однозначный вывод об электрических и электрохимических свойствах раствора, то туда нужно добавить компонент, заметно увеличивающий проводимость водной среды, например, поваренную (NaCl) или жёлтую кровяную  $[K_4[Fe(CN)_6]]$  соли. Это делается для того, чтобы увеличить точность измерения небольших по величине изменений выходного сигнала на фоне заметного постоянного отклика, по сравнению с нулевым фоном из-за существенно меньшей относительной погрешности эксперимента [3].

### Заключение.

Итак, в данной работе мы рассмотрели подход, позволяющий оптимизировать процесс нахождения проводимости водного раствора в

циркулирующих системах тепло-, водоподготовки и водоочистки с помощью бесконтактного двухканального трансформаторного преобразователя. Для этих целей мы провели измерения и анализ частотной зависимости сигнала выходного напряжения для эталонных водных растворов и выявили определённые закономерности, приводящие к повышению точности предлагаемого метода, связанные с линейным режимом работы ТП.

### ЛИТЕРАТУРА.

1. Марченко Е.М., Пермяков А.Б., Семенова И.В. Метод водоподготовки для предотвращения накипи и коррозии в системах теплоснабжения промышленной энергетики // Энергосбережение и водоподготовка. 2011. №4(72). С.44-48.
2. Пат. 12254 РФ, МПК<sup>6</sup> G01N27/02, G01N27/27. Устройство для измерения электрической проводимости и уровня жидкостей.
3. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике.- М.: Постмаркет, 2008.
4. Изюмов Ю.П., Линдэ Д.П. Основы радиотехники.- М.: Энергия, 1965.
5. Беркинблит М.Б. Нейронные сети.- М.: МИРОС и ВЗМШ РАО, 1993.
6. Davies C.W., James A.M. A Dictionary of Electrochemistry.- THE MACMILLAN PRESS LTD, 1976.
7. Chen K., Giblin P., Irving A. MATHEMATICAL EXPLORATIONS WITH MATLAB.- CAMBRIDGE: University Press.

## THE OPTIMIZATION OF NONCONTACT CONDUCTOMETRY TECHNIQUE FOR WATER QUALITY CONTROL BY USING DUAL-CHANNEL TRANSFORMER TRANSDUCER

O.V. IL'IN, Eng.

E.A. POPOV, D.Sc. (Phys.-Math.)

V.K. IL'IN, D.Sc. (Tech.)

Kazan State Power Engineering University, 51, Krasnoselskaya Str., Kazan, 420066, Republic of Tatarstan, Russia

**Abstract.** The approaches for optimization the noncontact losses method under control of technical water electro conductivity by using the dual-channel transformer transducer (TT) are considered. The setup includes both the thermoregulator and electrolyte velocity control equipment that allows us to make both the laboratory and continuous measurements. In the course of the carried out investigations the diapasons wherein outgoing voltage amplitude in every channel of transducer is proportional to the frequency of incoming harmonic signal are found. The proportionality factors, being the transducer sensitivities for linear regime, are determined with electro conductivity value and, therefore, by ion mixture of the water within the fluidal outline of every TT channel.

**Key words:** multicomponent ion medium, noncontact conductometry technique, transformer transducer, outgoing voltage signal.

### REFERENCES.

1. Marchenko E.M., Permyakov A.B., Semenova I.V. Metod vodopodgotovki dlya predotvrashcheniya накипи i korrozii v sistemakh teplosnabzheniya promyshlennoi energetiki // Energoberezhenie i vodopodgotovka. 2011. №4(72). S.44-48.
2. Pat. 12254 RF, МПК<sup>6</sup> G01N27/02, G01N27/27. Ustroistvo dlya izmereniya elektricheskoi provodimosti i urovnya zhidkostei.
3. Klaassen K.B. Osnovy izmerenii. Elektronnye metody i pribory v izmeritel'noi tekhnike.- М.: Postmarket, 2008.
4. Izumov Yu.P., Linde D.P. Osnovy radiotekhniki.- М.: Energiya, 1965.
5. Berkinblit M.B. Neironnye seti.- М.: MIROS i VZMSh RAO, 1993.
6. Davies C.W., James A.M. A Dictionary of Electrochemistry.- THE MACMILLAN PRESS LTD, 1976.
7. Chen K., Giblin P., Irving A. MATHEMATICAL EXPLORATIONS WITH MATLAB.- CAMBRIDGE: University Press.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

### КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В РАЙОНАХ СО СЛОЖНЫМИ КЛИМАТИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

А.Ф. ШАТРОВ<sup>1</sup>, к.т.н., профессор

О.Г. САПУНОВ<sup>1</sup>, к.т.н., доцент

А.А. КУЛАГИН<sup>2</sup>, инженер

С.Ю. НЕМИРОВСКИЙ<sup>2</sup>, инженер

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», 107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38

<sup>2</sup>ООО СК «Главэнергострой», 677009, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Дзержинского, 52, корп. 3

**Аннотация.** В данной работе предлагается к рассмотрению комбинированная система теплоснабжения. Она включает в себя трансформаторную подстанцию, воздушные или кабельные линии электропередачи, тепловые насосы, устанавливаемые непосредственно рядом с объектом теплоснабжения. Главное отличие традиционной и комбинированной систем теплоснабжения заключается в отказе от строительства и эксплуатации малых и средних котельных и трубопроводов теплоснабжения, вместо которых используются индивидуальные тепловые насосы и линии электропередач. Основными преимуществами комбинированной системы теплоснабжения по сравнению с традиционной являются: практически двукратная экономия топлива, требуемого для теплоснабжения объектов, расположенных в районах Сибири, Дальнего Востока и крайнего Севера; значительное до 50% удешевление затрат и уменьшение сроков строительства системы теплоснабжения; уменьшение эксплуатационных расходов; снижение негативного воздействия на окружающую среду благодаря уменьшения количества сжигаемого топлива.

**Ключевые слова:** система теплоснабжения, тепловые насосы, экономия топлива, линии электропередач.

Вопросы, связанные с отоплением зданий и помещений различного назначения, расположенных в регионах Сибири, Дальнего Востока и крайнего Севера требуют постоянного внимания особенно для небольших городов и поселков, промышленных и строительных площадок в удаленных и труднодоступных местах. Обеспечение теплом жилых, административных и производственных помещений (объектов) является необходимым условием нормальной жизнедеятельности населения этих регионов.

Принципиальная схема традиционной на сегодня системы отопления включает в себя: котельную-теплотрассы-объекты [1-3]. Она имеет свои плюсы и минусы. К плюсам следует отнести то, что подобная схема проверена временем, имеет отлаженную технологию эксплуатационного обслуживания. Вместе с тем традиционная схема содержит в себе принципиальные недостатки. Прежде всего, это ограниченная длина теплотрасс, обусловленная потерями тепла в них. Рекомендованная длина теплотрасс для различных условий составляет несколько километров. Ограничение длины теплотрасс приводит к увеличению числа котельных малой и средней мощности, которые обладают меньшим КПД по сравнению с крупными котельными. Последнее влечет за собой увеличение расхода топлива и соответственно затрат на закупку и доставку этого топлива.

Эксплуатация традиционных систем теплоснабжения хотя и налажена, но является достаточно трудоемкой, требует использования специальных материалов и технических

средств. Сам процесс эксплуатационного обслуживания в условиях низких температур и вечной мерзлоты крайне затруднен.

В данной работе предлагается к рассмотрению комбинированная система теплоснабжения [3-6]. Оно включает в себя трансформаторную подстанцию (ТП), воздушные и/или кабельные линии электропередачи (ЛЭП), тепловые насосы (ТН), устанавливаемые непосредственно рядом с объектом теплоснабжения. При этом требования по теплоснабжению объектов соблюдаются равнозначно для обоих вариантов.

Главное отличие традиционной и комбинированной систем теплоснабжения заключается в отказе от строительства и эксплуатации малых и средних котельных и теплотрасс, вместо которых используются индивидуальные тепловые насосы (ТН) и линии электропередач (ЛЭП).

Подобное решение позволяет заменить дорогостоящие и сложные в эксплуатации теплотрассы достаточно простыми и относительно дешевыми воздушными и/или кабельными ЛЭП [7-13]. Длина ЛЭП, т.е. расстояние от источника энергии до объекта, может составлять десятки и более километров, а потери в них составят примерно 8-12%. Здесь следует учитывать то, что с одной стороны практически ко всем объектам электрические сети уже подведены. С другой стороны, электрическая мощность, потребляемая ТН, достаточно мала и составляет 10-20% от общей мощности подводимой к объекту теплоснабжения. Во многих случаях с этой дополнительной нагрузкой

справятся уже существующие ЛЭП. Последнее означает, что отпадает необходимость строительства новых распределительных электрических сетей, а это влечет за собой дополнительную экономию средств. К тому же, строительство и эксплуатационное обслуживание ЛЭП существенно дешевле строительства и эксплуатационного обслуживания теплотрасс.

Сами ЛЭП получают питание от трансформаторных подстанций (ТП), которые имеют свои преимущества по сравнению с котельными. Прежде всего, комплектные трансформаторные подстанции не требуют строительства отдельно стоящих отапливаемых зданий или помещений. Управление ТП осуществляется операторами дистанционно. Количество обслуживаемых одной ТП объектов теплоснабжения (оборудованных ТН) в 3-5 раз больше по сравнению с отдельной котельной сопоставимой мощности. Следовательно, при равной мощности необходимой для теплоснабжения объектов количество ТП может быть в разы меньше, чем количество котельных.

Другой особенностью предлагаемой комбинированной схемы является замена котельных малой и средней мощности индивидуальными тепловыми насосами (ТН) или иначе - теплонасосными установками (ТНУ), которые устанавливаются непосредственно рядом с объектом теплоснабжения.

Тепловые насосы (ТН) находят широкое применение во всем мире. Прежде всего, это вызвано тем, что ТН используют возобновляемую (тепловую) энергию окружающей среды, т.е. не требуют закупки, транспорта и хранения органического топлива в объемах соответствующих традиционной системе теплоснабжения.

В зависимости от диапазона температур верхнего и нижнего источника тепловой насос производит на 1 кВт электроэнергии 3÷5 кВт теплоты. Стоимость электроэнергии для потребителя (в нашем случае это ТН) определяется тарифами. При этом объемы (мощности) закупаемой электроэнергии для равнозначных по производительности традиционной и комбинированной систем теплоснабжения достаточно близки. Последнее объясняется тем, что сами по себе котельные являются крупными потребителями электроэнергии (порядка 10% от мощности котельной).

Примем за 100% потребляемую традиционной схемой энергию для теплоснабжения определенного количества объектов. Тогда потребность в энергии (электроэнергии) индивидуальных ТН, установленных на том же количестве объектов теплоснабжения, составит до 40% от ее общего значения. При этом 60-70% энергии требуемой для теплоснабжения объектов (рис.1) будет поступать от ее возобновляемого источника с минимальными потерями.

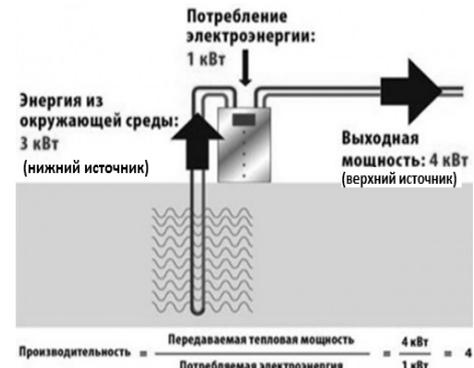


Рис.1. Принципиальная схема ТН.

Таким образом, для муниципальных образований резко уменьшается потребность в закупке, доставке и хранении органического топлива как это необходимо в случае использования традиционной системы теплоснабжения.

В зависимости от ситуации и постановки задачи ТН изготавливается как установка: Вода/Вода, Рассол/Вода и Воздух/Вода. Диапазон возможных мощностей от 15 до 2000 кВт и может быть при необходимости расширен, например, с помощью каскада из нескольких тепловых насосов. Также возможна реализация комбинированной отопительной установки. Здесь ТН обеспечивает базовые потребности в отоплении и ГВС. Для покрытия пиковых нагрузок – в случае экстремально низких уличных температурах – может автоматически подключаться жидкотопливный или газовый котел. Подобная комбинированная схема обеспечивает максимальную надежность системы теплоснабжения объекта.

Тепловые насосы надежно работают в разных климатических зонах. Они эффективны и при высоких, и при низких температурах окружающей среды. ТН успешно используют в условиях вечной мерзлоты и в условиях, где первичным носителем тепла является морская вода. Область применения данной системы практически не имеет ограничений.

Помимо перечисленного Тепловые насосы имеют следующие преимущества, обуславливающие их широкое распространение:

- изготавливаются под имеющиеся размеры и могут быть смонтированы и в тяжелых климатических условиях, и при недостатке монтажного пространства;

- управляющие ТН системы обеспечивают максимум функциональности, связанной с открытой системной архитектурой, которая может быть связана со стандартными средствами коммуникации;

- срок службы – не менее 25 лет;

- тепловой насос является абсолютно безопасным для окружающей среды;

- по сравнению с традиционными отопительными системами требует минимальных эксплуатационных затрат;

- легкость и быстрота установки.

Суммируя вышеизложенное можно перечислить основные преимущества комбинированной системы теплоснабжения по сравнению с традиционной. Прежде всего, это практически двукратная экономия топлива, требуемого для теплоснабжения объектов расположенных в районах Сибири, Дальнего Востока и крайнего Севера. Серьезное до 50% удешевление затрат и уменьшение сроков строительства системы теплоснабжения, значительное уменьшение эксплуатационных расходов на ее обслуживание. Снижение негативного воздействия на окружающую среду благодаря уменьшения количества сжигаемого топлива.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Соловьёв Ю.П. Проектирование теплоснабжающих установок для промышленных предприятий.- М.: Энергия, 1978.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети.- М.: Издательство МЭИ, 2001.
3. Амерханов Р.А., Драганов Б.Х. Теплотехника: Учебник для вузов.- М.: Энергоатомиздат, 2006. 432 с.
4. Колесников А.И., Михайлов С.А. Энергоресурсосбережение.- М.: НПЦ «Энергоинвест», 2006. 232 с.

5. Шпильрайн Э.Э. Возможность использования теплового насоса на ТЭЦ // Теплоэнергетика. 2003. №7.

6. Закиров Д.Г. Состояние и перспективы использования низкопотенциальной теплоты с помощью тепловых насосов // Промышленная энергетика. 2004. №6.

7. О технико-экономическом сравнении вариантов электроустановок при проектировании / М.Ш.Мисриханов [и др.] // Электрические станции. 2004. №2.

8. Комплектные трансформаторные подстанции блочные модернизированные 35-220 кВ. Информация ЗАО «Группа компаний Электрощит».- Самара: 2005.

9. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения. Справочное учебное пособие.- М.: ИД «ФОРУМ» ИНФРА», 2008.

10. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л.Файбисовича, 3-е изд.- М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2012.

11. Методические рекомендации по проектированию развития энергосистем. Утв. Приказом Министерства Минэнерго России от 30 июня 2003 г. №281.

12. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для вузов.- М.: Энергоатомиздат, 2005.

13. Шатров А.Ф. Интеллектуальные электроэнергетические сети.- М.: Изд-во МГОУ, 2013.

## THE COMBINED SYSTEM OF HEAT SUPPLY OF THE OBJECTS LOCATED IN AREAS WITH DIFFICULT CLIMATIC CONDITIONS

A.F. ShATROV<sup>1</sup>, Ph.D. (Tech.)

O.G. SAPUNOV<sup>1</sup>, Ph.D. (Tech.)

A.A. KULAGIN<sup>2</sup>, Eng.

S.Yu. NEMIROVSKII<sup>2</sup>, Eng.

<sup>1</sup>Moscow State Technical University "MAMI", 38, B. Semenovskaya Str., Moscow, 107023, Russia

<sup>2</sup>LLC "Glavenergostroi", Builld.3, 52, Dzerzhinskogo Str., Yakutsk, 677009, Russia

**Abstract.** In this work, the combined system of heat supply is offered to consideration. It includes transformer substations, air or cable power lines, and thermal pumps installed directly near object of heat supply. The main difference of the traditional and combined systems of heat supply consists in refusal of construction and operation of small and average boiler rooms and pipelines of heat supply instead of which individual thermal pumps and power lines are used. The main advantages of the combined system of heat supply in comparison with traditional are: almost double economy of fuel of the located in the Areas of Siberia, Far East and Far North demanded for heat supply of objects; reduction in cost of expenses, considerable to 50%, and reduction of terms of construction of system of heat supply; reduction of operational costs; decrease in negative impact on environment thanks reduction of amount of the burned fuel.

**Key words:** system of heat supply, thermal pumps, economy of fuel, power line.

#### REFERENCES.

1. Solov'ev Yu.P. Proektirovanie teplosnabzhayushchikh ustanovok dlya promyshlennykh predpriyatii.- Moscow, Energiya, 1978.
2. Sokolov E.Ya. Teplofikatsiya i teplovye seti.- Moscow, Izdatel'stvo MEI, 2001.
3. Amerkhanov R.A., Draganov B.Kh. Teplotekhnika: Uchebnik dlya vuzov.- Moscow, Energoatomizdat, 2006, 432 p.
4. Kolesnikov A.I., Mikhailov S.A. Energoresursosberezhenie.- Moscow, NPTs «Energoinvest», 2006, 232 p.
5. Shpil'rain E.E. Vozmozhnost' ispol'zovaniya teplovogo nasosa na TETs // Teploenergetika, 2003, No.7.
6. Zakirov D.G. Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya nizkopotentsial'noi teploty s pomoshch'yu teplovykh nasosov // Promyshlennaya energetika, 2004, No.6.
7. O tekhniko-ekonomicheskom sravnenii variantov elektroustanovok pri proektirovanii / M.Sh.Misrikanov and others // Elektricheskie stantsii, 2004, No.2.
8. Komplektnye transformatornye podstantsii blochnye modernizirovannye 35-220 kV. Informatsiya ZAO «Gruppa kompanii Elektroshchit».- Samara, 2005.
9. Opoleva G.N. Skhemy i podstantsii elektrosnabzheniya. Spravochnoe uchebnoe posobie.- Moscow, ID «FORUM» INFRA», 2008.
10. Spravochnik po proektirovaniyu elektricheskikh setei / Pod red. D.L.Faibisovicha, 3-e izd.- Moscow, Izd-vo NTs ENAS, 2012.
11. Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu razvitiya energosistem. Utv. Prikazom Ministerstva Minenergo Ros-sii ot 30 iyunya 2003 g. No.281.
12. Kudrin B.I. Elektrosnabzhenie promyshlennykh predpriyatii: Uchebnik dlya vuzov.- Moscow, Energoatomizdat, 2005.
13. Shatrov A.F. Intellektual'nye elektroenergeticheskie seti.- Moscow, Izd-vo MGOU, 2013.

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА****НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КАТАЛИТИЧЕСКАЯ КОНВЕРСИЯ  
УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ**А.В. КАЗАКОВ<sup>1</sup>, к.т.н., доцентС.В. ДОЛГОВ<sup>2</sup>, инженер<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30<sup>2</sup>МУП города Нижневартовска «Теплоснабжение», 628616, Тюменская обл., ХМАО-Югра, г. Нижневартовск, ул. Менделеева, 21

**Аннотация.** Экспериментальным путем получены зависимости степени конверсии углерода в атмосфере водяного пара от температуры в режимах низкотемпературной каталитической обработки торфа, бурого угля, торфяного полукокса, бурогоугольного полукокса. Увеличение степени конверсии углерода в области температур до 500 °С достигается при использовании катализаторов. Возможность использования полученных результатов связывается с горелочными устройствами, рабочей зоной которых является пористая среда, образованная засыпкой из углеродсодержащих частиц.

**Ключевые слова:** конверсия углерода, топливо, криптол, газ, водород.

Постепенное сокращение запасов основных энергоносителей – нефти и газа, неуклонный рост цен на их добычу стимулируют активизацию исследований в области эффективного использования альтернативных и низкосортных энергоносителей.

С целью вовлечения низкосортных топлив в использование в области малой энергетики и в автономных энергоустановках апробированы технологии паровой термической конверсии углеродсодержащих материалов в смеси с катализирующими добавками в области температур до 500 °С [1,2]. В основе такой технологии лежит окисление углеродной составляющей водяным паром с получением высококалорийной газовой смеси, содержащей водород, метан, монооксид углерода. Содержание отдельных составляющих зависит от при-

роды исходного сырья, расхода и температуры водяного пара.

Горелочные устройства инфракрасного излучения, работа которых основана на использовании углеродистой засыпки в рабочей зоне горения [3-5], могут рассматриваться в качестве мини-теплогенераторов, в которых осуществляется принцип низкотемпературной конверсии углеродной матрицы при подаче водяного пара.

Определение степени конверсии углерода в зависимости от температуры и расхода пара выполнено на экспериментальной установке (рис.1), которая снабжена средствами контроля параметров пара и состояния углеродистого материала, позволяющими вести качественный и количественный анализ в рамках предмета проводимых исследований.

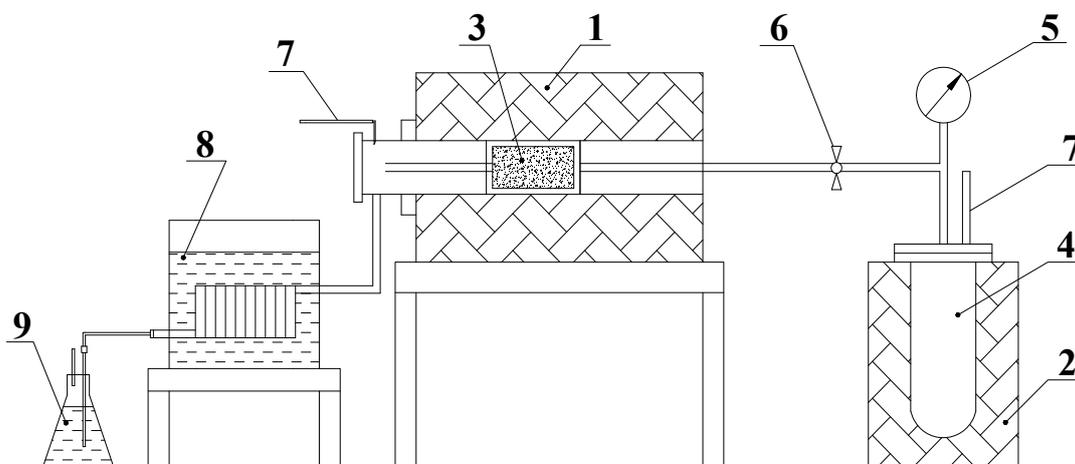


Рис.1. Схема экспериментального стенда.

1 – печь трубчатая горизонтальная; 2 – печь трубчатая вертикальная; 3 – реактор; 4 – калориметрическая бомба; 5 – манометр; 6 – регулировочный вентиль; 7 – термопара; 8 – конденсатор; 9 – емкость для сбора конденсата и отбора проб газов.

Горизонтальная и вертикальная трубчатые печи (1,2 соответственно), устанавливались в рабочее положение, внутри горизонтальной трубчатой печи (1) размещался реактор (3) с углеродсодержащим материалом. В трубчатой вертикальной печи (2) размещалась калориметрическая бомба (4), в нее заливалось определенное количество воды, которая затем в результате нагрева трансформировалась в насыщенный пар заданной температуры. Контроль избыточного давления полученного пара осуществлялся с помощью манометра (5). Расход пара изменялся посредством вентиля (6), установленного на паропроводящем патрубке. Температура получаемого пара и парогазовой смеси после реактора измерялась с помощью термопар (7). После взаимодействия пара с углеродом размещенного в реакторе материала образовавшаяся парогазовая смесь через паропроводящий патрубок поступала в конденсатор (8), после чего пиролизный конденсат и конверсионные газы через патрубок попадали в емкость (9). Фиксировались начальная и конечная массы углеродистого материала в реакторе, а также количество образовавшегося конденсата. Газ, полученный в процессе паротепловой конверсии, подвергался хроматографическому анализу. Содержание углерода в исследуемом материале до начала и после эксперимента определялось на анализаторе элементного состава Vario Micro Cube, протарированном по эталонным образцам.

Эффективность термической конверсии оценивалась по степени конверсии углерода в горючий газ:

$$k = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где  $G_1$  и  $G_2$  – первичная и остаточная масса углерода в испытуемом материале.

Основная часть экспериментов выполнена на криптоле, материале с высоким содержанием углерода (95÷98%) и с развитой пористой

структурой, высокая газовая проницаемость которой предопределила его использование в качестве заполняющей среды в ранее разработанных горелочных устройствах [3,4]. В качестве катализирующей присадки использовались порошкообразные гематит и сажистое железо.

Вид характерных зависимостей изменения степени конверсии углерода, получаемых в результате экспериментов с криптолом, показан на рис.2. Как можно видеть, для наиболее полной конверсии углерода характерно, что чем выше температура пара, тем меньше его требуемый расход.

В результате обработки всего массива экспериментальных данных получена обобщающая зависимость, которая может быть использована для выбора режима паротепловой каталитической конверсии углеродсодержащих материалов (рис.3).

В тех же условиях выполнены эксперименты по паротепловой конверсии торфа, бурого угля, а также полукокса, полученного путем их низкотемпературного пиролиза.

Степень конверсии углерода этих топлив даже при имевших место ограничения количества подаваемого высокотемпературного пара оказалась выше при внесении катализирующих добавок (табл.1).

Состав горючих компонентов образующегося газа при введении в углеродсодержащий материал катализирующих присадок значительно изменяется (рис. 4).

Концентрация водорода в образующемся газе при конверсии с присадкой катализаторов в 2÷3 раза увеличивается за счет разложения пара, вводимого в процесс. Концентрация метана увеличивается в 1,2÷1,5 раза, что достигается за счет ступенчатых реакций с участием монооксида углерода, о чем свидетельствует уменьшение его концентрации.

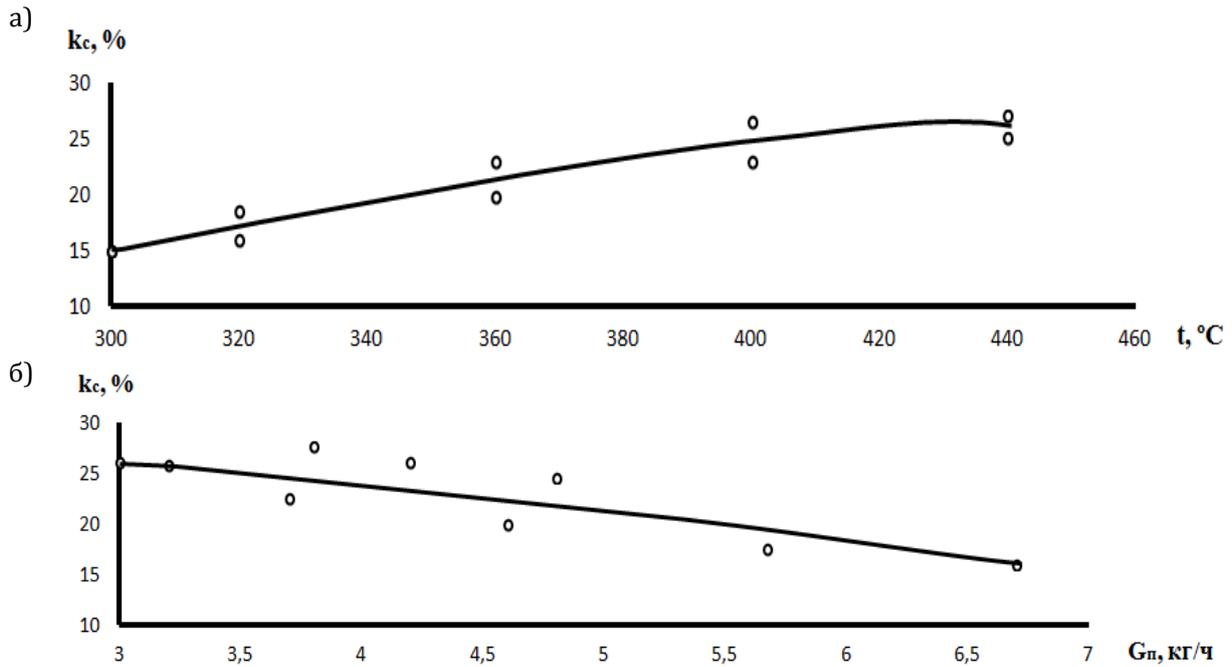


Рис.2. Зависимость степени каталитической конверсии углерода от температуры (а) и расхода пара (б): а – расход пара 3 кг/ч; б – температура пара 450 °С.

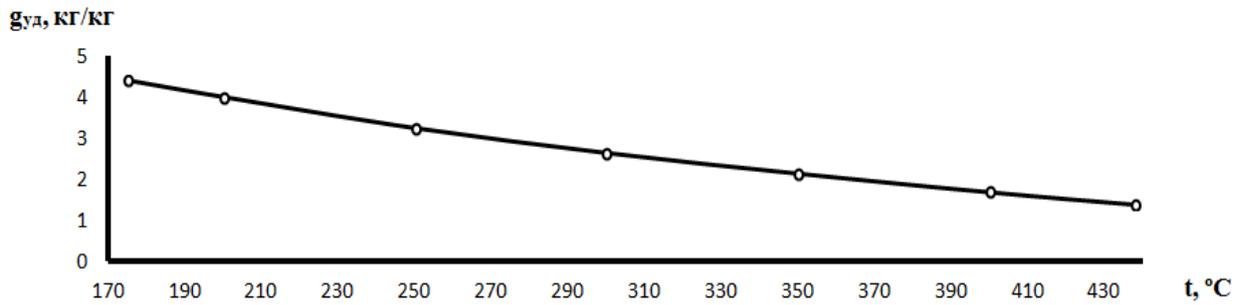


Рис.3. Удельный расход пара на 1 кг углерода в зависимости от температуры

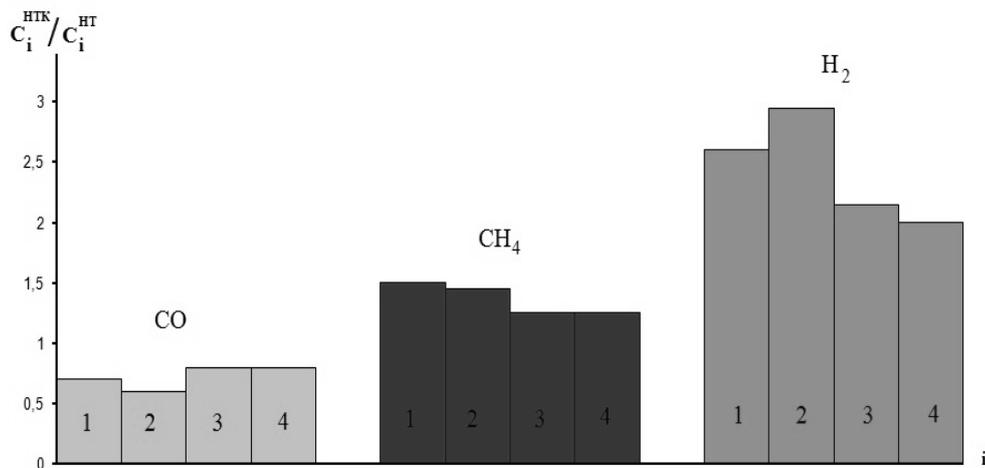


Рис.4. Отношение концентраций газовых компонентов при конверсии твердых топлив в экспериментах с присадками катализаторов ( $C_i^{HTK}$ ) и без присадок ( $C_i^{HT}$ ).  
Обозначения: 1 – торф; 2 – бурый уголь; 3 – торфяной полукокс; 4 – буроугольный полукокс.

Таблица 1

Степень конверсии углерода низкосортных топлив

Материал / Режим	Торф	Бурый уголь	Торфяной полукокс	Буроугольный полукокс
С присадками	78,4	74,4	12,6	11,8
Без присадок	45,6	44,9	0	0

Таким образом, установлены количественные параметры конверсии доступных углеродосодержащих порошковых материалов в смеси с катализирующими присадками при нагреве до 500 °С в условиях подачи водяного пара. Полученные результаты показывают перспективность реализации исследованной технологии в горелочных устройствах беспламенного горения при использовании в качестве пористого заполнения рабочей зоны таких углеродсодержащих материалов как криптол и полукокс, получаемый из бурого угля или из торфа.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №14-38-50287/14.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Табакаев Р.Б., Заворин А.С., Казаков А.В., Черемисин И.Г. Теплотехнология переработки низкосортного топлива в высококалорийные топливные брикеты // Энергосбережение и водоподготовка. 2014. №6. С.29-33.
2. Заворин А.С., Казаков А.В., Макеев А.А., Подоров С.В. Исследование процесса генерации газа в автономных энергетических установках // Теплоэнергетика. 2010. №1. С.74-78.
3. Пат. пол. модель 129599 РФ. №2012141632/06(067033). Горелочное устройство инфракрасного излучения // Заявл. 28.09.2012; опубл. 27.06.2013, Бюл. №18. 3 с.
4. Пат. пол. модель 136875 РФ. №2013134821/06. Горелочное устройство инфракрасного излучения // Заявл. 23.07.2013; опубл. 20.01.2014, Бюл. №2. 3 с.
5. Хаустов С.А., Заворин А.С. Современные тенденции проектирования жаротрубных котлов [Электронный ресурс] // Вестник науки Сибири. 2014. №2(12). С.21-28. <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/988>. Дата обращения 05.01.2015.

## LOW-TEMPERATURE CATALYTIC CONVERSION OF CARBON-CONTAINING MATERIALS

A.V. KAZAKOV<sup>1</sup>, Ph.D. (Tech.)

S.V. DOLGOV<sup>2</sup>, Eng.

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia

<sup>2</sup>Municipal Unitary Enterprise of Nizhnevartovsk "Teplosnabzhenie", 21, Mendeleeva Str., Nizhnevartovsk, Tyumen Region, 628616, Russia

**Abstract.** Changing the degree of conversion of the carbon in the atmosphere of water vapor on temperature were obtained experimentally in conditions of the low-temperature catalytic processing of peat, brown coal, peat char, brown coal char. Increasing the degree of carbon conversion at temperatures up to 500 °C was reached using catalysts. The results obtained are intended for use in the burners with a porous medium formed by backfilling of the carbonaceous particles. Quantitative conversion parameters available carbonaceous material powder mixture with catalytic additives during heating to 500 °C under a steam flow are established. The results show promising technology implementation investigated flameless combustion burner devices using a porous filling as working area such as carbonaceous material and char kriptol obtained from lignite or peat.

**Key words:** conversion of carbon, fuel, kriptol, gas, hydrogen.

#### REFERENCES.

1. Tabakaev R.B., Zavorin A.S., Kazakov A.V., Cheremisin I.G. Teplotekhnologiya pererabotki nizkosortnogo topliva v vysokokaloriinye toplivnye brikety // Energoberezhenie i vodopodgotovka, 2014, No.6, p.29-33.
2. Zavorin A.S., Kazakov A.V., Makeev A.A., Podorov S.V. Issledovanie protsessa generatsii gaza v avtonomnykh energeticheskikh ustanovkakh // Teploenergetika, 2010, No.1, p.74-78.
3. Pat. pol. model' 129599 RF. No.2012141632/06(067033). Gorelochnoe ustroystvo infrakrasnogo izlucheniya // Zayavl. 28.09.2012; opubl. 27.06.2013, Byul. No.18. 3 p.
4. Pat. pol. model' 136875 RF. No.2013134821/06. Gorelochnoe ustroystvo infrakrasnogo izlucheniya // Zayavl. 23.07.2013; opubl. 20.01.2014, Byul. No.2. 3 p.
5. Khaustov S.A., Zavorin A.S. Sovremennye tendentsii proektirovaniya zharotrubnykh kotlov [Elektronnyi resurs] // Vestnik nauki Sibiri. 2014. No.2(12). p.21-28. <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/988>. Data obrashcheniya 05.01.2015.

## ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ПЛАЗМА Пониженного Давления В Энергосберегающих Технологиях Обработки Поверхности Металлов

А.А. ХУБАТХУЗИН<sup>1</sup>, к.т.н., доцент

И.Ш. АБДУЛЛИН<sup>1</sup>, д.т.н., профессор

И.Г. ГАФАРОВ<sup>2</sup>, д.т.н., директор

В.И. ХРИСТОЛЮБОВА<sup>1</sup>, научный сотрудник

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К.Маркса, 68

<sup>2</sup>ООО «Научно-внедренческая фирма «РЕНАРИСОРБ», 119313, г. Москва, Ленинский пр-т, 88, корп.3, оф.100

**Аннотация.** Рассмотрены методы упрочнения металлов. Проведен анализ и сопоставление рассмотренных методов. Получено покрытие на поверхности алюминиевого сплава с помощью анодирования и эпиламинирования, ВЧ плазмы пониженного давления. В результате формирования покрытия на поверхности получено улучшение физико-механических свойств металлов и повышение твердости. Изучен и освоен комплексный подход к изучению покрытий с применением методов измерения рельефа, шероховатости, твердости, износостойкости, модуля упругости, коэффициента упругого восстановления и толщины модифицированного слоя в рамках одного измерительного прибора.

**Ключевые слова:** ВЧ плазма, спиральный насос, пониженное давление.

Рост цен на энергоносители обусловил значительное увеличение энергетической составляющей себестоимости продукции, в результате последовало увеличение цен на продукцию более чем на 20%. Рост цен на энергоносители, ограниченность энергоресурсов диктует необходимость выбора наиболее эффективных ресурсосберегающих технологий при производстве продукции. Значительная экономия энергии может быть получена в промышленности без капитальных затрат – путем небольших усовершенствований технологий и прежде всего на основе повышения эксплуатационных свойств рабочей поверхности создаваемых изделий. Детали должны обладать контактной жесткостью, сопротивлением усталости, коррозионной стойкостью, износостойкостью и другими свойствами, во многом зависящими от качества поверхностного слоя. Под поверхностным слоем детали понимается как сама поверхность, полученная в результате обработки, так и слой материала, непосредственно прилегающий к ней. Качество поверхности оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей машин: износостойкость, усталостную прочность, стабильность посадок, коррозионную стойкость и другие. Проблема работоспособности машин и механизмов может быть решена технологическим обеспечением качества поверхностного слоя. Это обусловлено тем, что сопряжение деталей машин происходит по рабочим поверхностям. По этой причине и их разрушение, как правило, начинается с поверхности. Наружный слой детали, как правило, по своим физико-химическим свойствам отличается от свойств

основного материала детали. Он формируется при изготовлении и эксплуатации, а по глубине может составлять от десятых долей микрометра до нескольких миллиметров. Поверхностный слой характеризуется геометрическими характеристиками и физико-химическими свойствами. Для повышения эксплуатационных характеристик изделия целесообразно улучшить свойства поверхностного слоя рабочей поверхности детали. Эффективным способом увеличения срока службы изделий машиностроения является модификация свойств рабочих поверхностей, подвергающихся износу в процессе эксплуатации. Результаты исследований процессов износа и разрушения различных изделий при их эксплуатации показали, что надежность изделия и срок службы зависят, а нередко и полностью определяются состоянием поверхностного слоя [1-3].

Перспективным методом обработки поверхности материалов является воздействие высокочастотной (ВЧ) плазмы пониженного давления, в результате которого происходит ионная имплантация атомов плазмообразующего газа в объем металла глубиной до 100 нм [4]. Отличительной особенностью технологии является использование «холодной» плазмы: газовая температура в плазменном потоке может регулироваться в диапазоне от 40 до 600 °С.

Принцип воздействия плазмы на обрабатываемую поверхность основан на формировании потока ионов, обладающих энергией 10-100 эВ, за счет образования слоя положительного заряда на границе между поверхностью

тела и квазинейтральной плазмой. Энергии ионов достаточно для залечивания микропор и микротрещин, ликвидации трещиноватого и рельефного слоев, формирования сжимающих остаточных напряжений в приповерхностном слое образца и др.

В качестве объекта исследования выбраны образцы из дюралюминия. Дюралюминий основной конструкционный материал в авиации и космонавтике, а также в других областях машиностроения с высокими требованиями к весовой отдаче. Легкость, достаточная прочность, простота обработки, коррозионная стойкость - основные достоинства материала.

Широкое применение дюралюмины находят также в вакуумной промышленности, в частности используются в спиральных насосах. В настоящее время спиральные вакуумные насосы получили распространение как средства безмаслянной откачки. Основными требованиями к спиральным вакуумным насосам являются точность обработки спиралей и правильность выбора поверхностей трения. При воздействии экстремальных условий, например, агрессивных сред, неблагоприятных моментов при пуске и останове компрессоров они могут легко разрушаться. Кроме того, спирали подвержены значительному износу и могут ломаться внутри оборудования, особенно из-за большого трения, и поэтому часто требуют замены. В работе представлены результаты изменения свойств поверхности материала после воздействия на нее высокочастотной плазмы пониженного давления.

Для сопоставления и анализа воздействия ВЧ плазма пониженного давления на поверхность дюралюминиевого образца проведена обработка альтернативными способами: анодированием и эпиламинированием.

Эпиламирование - это процесс нанесения защитной многофункциональной пленки на трущиеся детали и узлы изделий. Речь идет не о смазывании или покраске. Речь идет о специальных фторсодержащих поверхностно-активных веществах (ПАВ), эпиламах, которые специальным образом наносятся на изделие, после чего на нем образуется тончайшая пленка. Обработка проводилась согласно ИСО ГОСТ Р 3001:2008. В качестве эпилама использовалась «фторсодержащая многофункциональная композиция ЭПИЛАМ СФК-05». Нанесение покрытия осуществлялось горячим методом в течение часа.

При анодировании алюминиевого сплава деталь погружали в кислый электролит (вод-

ный раствор  $H_2SO_4$ ) и соединяли с положительным полюсом источника тока. Процесс протекает при плотностях тока  $10-50 \text{ mA/cm}^2$  детали (требуемое напряжение источника до  $50-100 \text{ В}$ ) [5,6]. Образование оксидного покрытия на поверхности сплава отмечено изменением цвета от привычного стального блеска до матового зеленого.

С целью расширения круга исследуемых материалов и рассмотрения области влияния воздействия ВЧ плазмы на свойства поверхности, проведена обработка различных металлов и их сплавов, также широко применяемых в промышленности.

Во всех случаях во избежание побочных эффектов детали обезжиривались и обезвоживались. Исходные исследуемые характеристики образца: твердость  $0,82 \text{ ГПа}$ , модуль упругости  $32 \text{ ГПа}$ . После анодирования установлено, что твердость материала возросла до  $0,98 \text{ ГПа}$ , однако упругие свойства (модуль упругости, коэффициент упругого восстановления) упали в два раза. Это может быть связано со структурой анодного оксида, который получается пористым. Соответственно очень сильно возросла шероховатость, в  $3,5$  раза. Поэтому после анодирования следует применять дополнительные меры с целью закупорить поры. Обычно деталь длительно обрабатывают паром или кипятят в воде.

Проведенные исследования по влиянию эпилама показали, что твердость увеличилась аналогичным образом до  $0,98 \text{ ГПа}$ . Модуль упругости в сравнении с предыдущим методом увеличился на  $40\%$  до  $45 \text{ ГПа}$ , коэффициент упругого восстановления, однако, как и при анодировании остался равным  $12\%$ . Шероховатость после данного вида обработки не изменилась.

Для исследования влияния взаимодействия ВЧ плазмы пониженного давления с поверхностью материала проведен третий эксперимент в плазме инертного газа с расходом аргона  $0,058-0,06 \text{ г/с}$  и смеси плазмообразующего газа метан+аргон с расходами  $0,002-0,004 \text{ г/с}$  и  $0,06 \text{ г/с}$  соответственно. Рабочее давление в камере  $24-26 \text{ Па}$ .

Характеристики плазменного ВЧ генератора: потребляемая мощность  $0,5-10 \text{ кВт}$ , частота на выходе  $13,56 \text{ МГц}$ , ток анода  $0,6-0,75 \text{ А}$ , напряжение анода  $7 \text{ кВ}$ . С целью концентрации электрического поля вблизи поверхности на изделие подавался дополнительный отрицательный потенциал в размере  $-20 \text{ В}$ . В качестве рабочего газа при исследовании процессов

финишной очистки и нанополировки поверхностей использовался технически чистый аргон. Для повышения микротвердости поверхности изделия использовалась смесь газов из аргона и метана в соотношениях, указанных выше.

Образец устанавливался перпендикулярно потоку. Для устранения побочных эффектов образцы перед плазменной обработкой при изучении состава и структуры обезжиривались и обезвоживались.

Температура образца при установлении закономерностей изменения свойств поверхностного слоя от плазменных параметров выбиралась такой, чтобы, с одной стороны, максимально интенсифицировать плазменные процессы, а с другой – чтобы при этой температуре термообработка не была бы доминирующим фактором.

Экспериментально установлено, что время обработки и получения равномерного распределения температуры по всему объёму материала составляет 15-20 минут, поэтому все изделия подвергались обработке в плазме чистого аргона в течение 20 минут, с последующей обработкой в смеси газов также в течение 20 минут.

В результате воздействия емкостного ВЧ разряда на поверхность изделия удалось повысить твердость с  $3,05 \pm 0,17$  ГПа до  $3,30 \pm 0,29$  ГПа. При этом увеличился как модуль упругости, с  $74,16 \pm 10,66$  ГПа до  $124,07 \pm 17,95$  ГПа, так и коэффициент упругого восстановления, с  $17,94 \pm 0,78\%$  до  $29,89 \pm 5,61\%$ . Шероховатость понизилась с  $302,37$  нм до  $76,65$  нм.

Для определения физико-механических свойств во всех проведенных экспериментах применялось измерение микротвердости, шероховатости, модуля упругости и коэффициента упругого восстановления, исследовался рельеф и структура поверхности на субмикронном и нанометровом масштабе с помощью сканирующего нанотвердомера «НаноСкан-3D». На базе «НаноСкан» реализован метод измерения твердости, основанный на измерении и анализе зависимости нагрузки при вдавлении индентора в поверхность материала от глубины внедрения индентора. Данный метод лежит в основе стандарта на измерение твердости ISO 14577. Для механических испытаний применяется индентор типа Берковича, который представляет из себя трехгранную алмазную пирамиду с углом при вершине около  $142^\circ$ . Метод измерительного динамического индентирования заключается в следующем:

индентор вдавливается в поверхность образца с постоянной скоростью, при достижении заданной нагрузки индентор отводится в обратном направлении. В процессе такого испытания производится запись значений нагрузки и соответствующего ей смещения индентора [5]. Метод, предложенный Оливером и Фарром, является наиболее распространенным. В рамках данного метода твердость  $H$  образца определяется уравнением

$$H = \frac{P_{\max}}{A_c},$$

где  $A_c$  – площадь проекции отпечатка при максимальном значении приложенной нагрузки  $P_{\max}$  в м<sup>2</sup>.

Значение эффективного модуля упругости:

$$E_r = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{S}{\sqrt{A_c}}.$$

Константа  $\beta$  зависит от формы индентора. В наноиндентировании чаще всего применяется трехгранная пирамида Берковича. Для индентора Берковича с углом при вершине  $142^\circ$   $\beta = 1,034$ . Жесткость контакта  $S$  определяется по наклону начальной части кривой разгрузки

$$\text{индентора } P_{\max}: S = \left( \frac{dP}{dh} \right)_{P=P_{\max}}.$$

Наибольшая глубина внедрения индентора в поверхность  $h_c$  вычисляется по формуле:

$$h_c = h_{\max} - \varepsilon \cdot \frac{P_{\max}}{S} = h_{\max} - \varepsilon \cdot (h_{\max} - h_i).$$

Константа  $\varepsilon$  зависит от геометрии индентора ( $\varepsilon \sim 0,75$  для пирамиды Берковича),  $h_i$  – расстояние, соответствующее пересечению касательной к кривой разгрузки в начальной части с осью внедрения.

Площадь проекции  $A_c$  определяется из заранее заданной функции формы индентора  $A(h)$  при подстановке рассчитанного значения контактной глубины  $h_c$ :

$$A_c = A(h_c).$$

Функция формы наконечника представляет собой зависимость площади сечения наконечника  $A$  от расстояния вдоль оси индентора  $h$ . Функция  $A(h)$  в рамках данного метода предполагается известной заранее.

Особенность: пьезорезонантный кантилевер камертонной конструкции с высокой изгибной жесткостью консоли ( $\sim 2 \cdot 10^4$  Н/м). Заданными параметрами при измерении являлись амплитуда колебаний кантилевера зонда при поиске поверхности при нанесении индента равная 10 нм, скорость нагружения при

внедрении в поверхность образца при нанесении индента равная 1000 нм/с, время выстания зонда в нагруженном состоянии после внедрения в поверхность образца (выдержка при максимальной нагрузке) равная 10000 мс, продолжительность измерения термодрейфа в процессе индентирования – 60000 мс. Термодрейф измеряется на кривой разгрузки при индентировании. В данном случае термодрейф измерялся на уровне 15% от полной разгрузки зонда.

Результаты серии проведенных экспериментов для образцов из дюралюминия, нержавеющей стали и бронзы представлены в табл.1. Как видно из табл.1, обработка проводилась при варьировании параметров установки в различных диапазонах.

В соответствии с полученными значениями для количественной сравнительной оценки стойкости материала покрытия к упругой деформации разрушения рассчитаны величина отношения твердости к модулю упругости Н/Е, называемая также индексом пластичности покрытия, а для оценки сопротивления пластической деформации - параметр  $H^3/E^2$  [6]. Результаты измерений показывают, что опытные образцы имеют примерно в 1,1-1,7 раза более высокую стойкость к упругой де-

формации разрушения (критерий Н/Е), в 1,2-2,0 раза более высокое сопротивление пластической деформации ( $H^3/E^2$ ) по сравнению с контрольными.

#### Выводы.

Установлено, что физико-механические показатели деталей спирального насоса, обработанных в плазме емкостного ВЧ разряда, обладают более высокими технологическими и физико-механическими характеристиками в сравнении с обработкой анодированием и эпиламинированием. Происходит газонасыщение (карбидирование) поверхностных слоев металлов и сплавов на глубину до 1 мкм за время обработки до 40 минут, результатом чего является повышение прочностных свойств, долговечности и срока службы изделий. Преимуществом ионной имплантации перед другими методами введения примеси в твердые тела является универсальность процесса, позволяющего ввести любой элемент в любой материал в строго контролируемом количестве, а также задавать его распределение по глубине [7]. Образование диффузионных нанослоев приводит к повышению износостойкости конечных изделий, повышению эксплуатационных характеристик оборудования.

Таблица 1

Физико-механические свойства образцов до и после обработки

Свойства	Материал					
	Дюралюминий		Нержавеющая сталь		Бронза	
	До обработки	После обработки	До обработки	После обработки	До обработки	После обработки
Твердость Н, ГПа	3,05	6,30	7,17	10,39	3,16	6,4
Модуль упругости Е, ГПа	74,16	124,07	173,32	272,93	75,27	131,39
Коэффициент упругого восстановления г, %	17,94	29,89	19,79	38,45	21,38	23,52±3,29
Шероховатость Ra, нм	302,37	76,65	36,17	90,64	47,40	23
Режимы обработки						
Расход газов G, г/с						
1. Ar		0,06		0,058		0,06
2. Ar+CH <sub>4</sub>		0,06+0,004		0,058+0,002		0,06+0,002
Время обработки t, мин						
1. в аргоне		20		20		20
2. в плазмообразующем газе		20		20		20
Давление P, Па		24÷26		24÷26		21÷26
Потенциал U, В		-20		-60		-60
Характеристики ВЧ генератора						
1. Потребляемая мощность N, кВт		0,5÷10		0,5÷10		0,5÷10
2. Частота υ, МГц		13,56		13,56		13,56
3. Ток анода I <sub>a</sub> , А		06÷0,75		06÷0,75		0,5
4. Напряжение анода U <sub>a</sub> , кВ		7		6		6

В исследованиях разработан и применен комплексный подход к изучению покрытий с применением методов измерения рельефа, шероховатости, твердости, износостойкости, модуля упругости, коэффициента упругого восстановления и толщины модифицированного слоя в рамках одного измерительного прибора.

Исследования показали, что использование в качестве инструмента обработки потока ионизированного газа (плазмы) позволяет проводить модификацию поверхности деталей спирального насоса сложной конфигурации, а также проводить обработку внутренней полости изделий.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Савич В.В. Дисперсные и нанодисперсные материалы в медицине (Обзор) // Конструкции из композиционных материалов. 2006. Вып.4. С.114-119.
2. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов.- М.: Машиностроение, 1986. 320 с.

3. Абдуллин И.Ш., Хубатхузин А.А. // Вестник Казанского технологического университета. 2010. №11. С.625-627.

4. Хубатхузин А.А., Абдуллин И.Ш., Христолюбова В.И. Повышение твердости физико-механических свойств металлов и их сплавов с помощью ВЧ-плазмы пониженного давления // Вестник Казанского Технологического Университета. 2013. Т.16. №23. С.25-28.

5. Хубатхузин А.А., Абдуллин И.Ш., Христолюбова В.И., Прокудин С.В. Особенности измерения физико-механических свойств нанопокрывтий // Вестник Казанского Технологического Университета. 2014. Т.17. №2. С.39-42.

6. Горленко А.О., Щупиков И.Л., Тополянский П.А., Тополянский А.П. Модификация рабочих поверхностей деталей из конструкционных и инструментальных материалов упрочняющими нанопокрывтиями // Металлообработка. 2012. №2(68). С.31-35.

7. Желтухин В.С., Шемахин А.Ю. Расчет газодинамики струй ВЧ-плазмы пониженного давления // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. 2011. Т.153. Кн.4. С.135-142.

## HIGH FREQUENCY PLASMA OF REDUCED PRESSURE IN THE ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES TREATMENT OF METAL SURFACES

A.A. KhUBATKhUZIN<sup>1</sup>, Ph.D. (Tech.)

I.Sh. ABDULLIN<sup>1</sup>, D.Sc. (Tech.)

I.G. GAFAROV<sup>2</sup>, D.Sc. (Tech.)

V.I. KhRISTOLYUBoVA<sup>1</sup>, Eng.

<sup>1</sup>Kazan National Research Technological University, 68, Karl Marx Str., Kazan, Republic of Tatarstan, 420015, Russia

<sup>2</sup>Scientific-Development Company "RENARISORB" LLC, Office 100, Build.3, 88, Leninskiy Ave., Moscow, 119313, Russia

**Abstract.** Methods of hardening of metals are considered. The analysis and comparison of the considered methods is carried out. The covering on a surface of an aluminum alloy by means of anodic treatment and an apollinarian, RF plasma of lowered pressure is received. Because of covering formation on a surface improvement of physical and mechanical properties of metals and hardness increase is received. Approach to the study of coatings using measurement methods of relief, roughness, hardness, wear resistance, modulus of elasticity, elastic recovery ratio and the thickness of the modified layer in a single instrument was worked out.

**Key words:** HF plasma, spiral pump, low pressure.

#### REFERENCES.

1. Savich V.V. Dispersnye i nanodispersnye materialy v meditsine (Obzor) // Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov, 2006, Vol.4, p.114-119.
2. Polevoi S.N., Evdokimov V.D. Uprochnenie metallov.- Moscow, Mashinostroenie, 1986, 320 p.
3. Abdullin I.Sh., Khabatkhuzin A.A. // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2010, No.11, p.625-627.
4. Khabatkhuzin A.A., Abdullin I.Sh., Khristolyubova V.I. Povyshenie tverdsti fiziko-mekhanicheskikh svoystv metallov i ikh spлавov s pomoshch'yu VCh-plazmy ponizhennogo davleniya // Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta, 2013, V.16, No.23, p.25-28.
5. Khabatkhuzin A.A., Abdullin I.Sh., Khristolyubova V.I., Prokudin S.V. Osobennosti izmereniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv nanopokrytii // Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta, 2014, V.17, No.2, p.39-42.
6. Gorlenko A.O., Shchupikov I.L., Topolyanskiy P.A., Topolyanskiy A.P. Modifikatsiya rabochikh poverkhnostei detalei iz konstruktsionnykh i instrumental'nykh materialov uprochnyayushchimi nanopokrytiyami // Metalloobrabotka, 2012, No.2(68), p.31-35.
7. Zheltukhin V.S., Shemakhin A.Yu. Raschet gazodinamiki strui VCh-plazmy ponizhennogo davleniya // Uchen. zap. Kazan. un-ta. Ser. Fiz.-matem. nauki, 2011, V.153, Kn.4, p.135-142.

## РАСЧЕТ ОСТЫВАНИЯ ВОДЫ В ТЕПЛОПРОВОДАХ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ИХ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕПЛОТДАЧИ

О.Д. САМАРИН, к.т.н., доцент

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

**Аннотация.** Рассмотрена постановка задачи об изменении средней температуры теплоносителя по длине теплопроводов инженерных систем зданий и наружных трубопроводных сетей, использующих в качестве рабочей среды жидкую воду, при граничных условиях 3-го рода. Представлена система алгебраических уравнений наружного теплообмена и внутреннего теплопереноса с учетом степенной зависимости коэффициента полного теплообмена на наружной поверхности от располагаемого перепада температур между водой и окружающим воздухом. Приведено аналитическое решение данной системы относительно изменения средней по сечению трубопровода температуры воды. Показана зависимость скорости остывания от показателя степени в выражении для коэффициента наружного теплообмена. Дан анализ полученных результатов и выявлен характер влияния действительной скорости остывания на толщину тепловой изоляции трубопровода. Изложение проиллюстрировано числовыми и графическими примерами.

**Ключевые слова:** трубопровод, коэффициент теплообмена, тепловой баланс, число единиц переноса теплоты, скорость остывания.

Оценка скорости остывания горячей воды в теплопроводах инженерных систем здания имеет существенное значение, в первую очередь, при тепловом расчете отопительных приборов, поскольку температура воды на входе в прибор является одним из основных исходных параметров такого расчета. Кроме того, это может оказаться важным при определении эффективности тепловой изоляции трубопроводов систем отопления и тепловых сетей, вычислении циркуляционного расхода в системах горячего водоснабжения, выявлении фактических параметров теплоносителя при его поступлении в различного рода теплообменное оборудование и т.д.

Заметим сразу, что простейший способ вычисления конечной температуры воды по общему тепловому балансу, исходя из имеющихся в литературе данных [1] по удельной теплоотдаче 1 пог. м трубопровода, приводит к необходимости последовательных приближений. Это связано с тем обстоятельством, что удельная теплоотдача сама по себе зависит от среднего по длине значения  $\theta_{ж}$ , на которое влияет результат рассматриваемого расчета. Именно поэтому предлагаются аналитические решения, использующие только начальные параметры теплоносителя и не связанные с конечными.

В существующих оценках обычно принято считать коэффициент теплообмена на наружной поверхности трубы  $\alpha$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), постоянным по длине трубы. Причем это относится к практике, сложившейся не только в нашей стране, но и за рубежом, в связи с чем можно упомянуть, например, работы [2] и [3] и европейский стандарт [4]. Такое предположение дает возможность получить очень простое решение, но его точность в значительной степе-

ни остается под вопросом, поскольку на самом деле величина  $\alpha$  заметно зависит от перепада температур  $\theta_{ж} = t_{ж} - t_{в}$ , К, между водой ( $t_{ж}$ ) и окружающим воздухом ( $t_{в}$ ).

В последнее время, однако, появляются публикации, где изменение параметра  $\alpha$  по длине теплопровода учитывается непосредственно на уровне исходных зависимостей при составлении системы уравнений теплового баланса и теплопередачи для элементарного объема теплоносителя, решаемой далее численными методами. В качестве примера в этом отношении можно привести работы [5,6]. Тем не менее, данный подход, хотя и дает необходимую точность, все же непригоден для непосредственного использования в инженерных расчетах. Поэтому рассмотрим вариант приближенного учета переменной величины  $\alpha$ , позволяющий получить решение в инженерной форме.

Для этого запишем дифференциальное уравнение теплового баланса для элементарного отрезка трубопровода  $dx$ , пренебрегая внутренними тепловыделениями за счет трения, поскольку при обычных скоростях движения воды они являются незначительными [7], хотя их и несложно учесть на основании, например, данных [8] (рис.1):

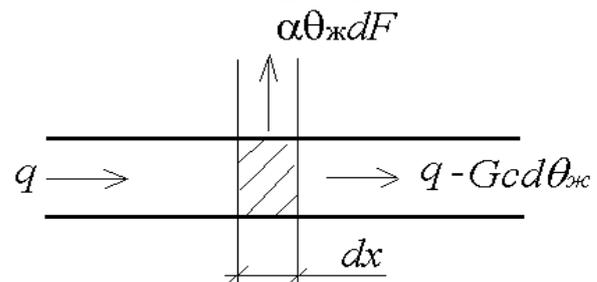


Рис.1. Схема теплообмена для элементарного отрезка трубопровода.

$$dq = \alpha \theta_{ж} dF = -Gcd\theta_{ж} \quad (1)$$

Здесь  $dF$  – площадь наружной поверхности данного отрезка,  $m^2$ ;  $G$  и  $c$  – соответственно массовый расход воды,  $kg/s$ , и ее удельная теплоемкость,  $Dж/(кг·K)$ ;  $dq$  – изменение потока теплоты,  $Вт$ , переносимого водой, прошедшей через отрезок, и равное теплоотдаче с его поверхности в окружающую среду;  $d\theta_{ж}$  – изменение величины  $\theta_{ж}$  в результате прохождения элементарного объема воды через отрезок. Знак «минус» в правой части уравнения (1) показывает, что теплота  $dq$  отводится от воды и передается воздуху. Для параметра  $\alpha$  можно записать следующее аппроксимирующее выражение:

$$\alpha = f(\theta_{ж}) = A\theta_{ж}^n, \quad \text{где } n > 0. \quad (2)$$

Оно следует из известных зависимостей для коэффициентов конвективного и лучистого теплообмена в условиях, характерных для эксплуатации трубопроводов систем водяного отопления, горячего водоснабжения и тепловых сетей. Подставляя (2) в (1), получаем:

$$A\theta_{ж}^{n+1} dF = -Gcd\theta_{ж}, \quad (3)$$

откуда после разделения переменных и интегрирования находим:

$$\frac{AF}{Gc} = \frac{1}{n\theta_{ж}^n} + C. \quad (4)$$

В начальном сечении при  $F=0$  имеет место равенство  $\theta_{ж} = \theta_{ж,0} = t_{ж,0} - t_{в}$ , т.е. начальной избыточной температуры теплоносителя, откуда постоянная интегрирования  $C = -\frac{1}{n\theta_{ж,0}^n}$ .

Если теперь учесть, что в силу (2)  $A \cdot \theta_{ж,0}^n = \alpha_0$ , после некоторых преобразований можно записать:

$$\theta_{ж} = \theta_{ж,0} [1 + nNTU_0]^{-1/n}, \quad (5)$$

где  $NTU_0 = \frac{\alpha_0 F}{Gc}$  – безразмерное число единиц

переноса теплоты для потока теплоносителя в трубопроводе, рассчитанное по величине коэффициента теплообмена в его начальном сечении  $\alpha_0$  и отнесенное к текущему значению  $F$ . Для сравнения при  $\alpha = const$  оказывается, что  $\theta_{ж} = \theta_0 \exp(-NTU_0)$ . Легко показать, что это выражение получается из (5) при переходе к пределу  $n \rightarrow 0$ .

Поскольку при реализации зависимости  $\alpha = A\theta_{ж}^n$  с учетом того, что для любой  $F > 0$  оказывается  $\theta_{ж} < 1$ , средняя величина  $\alpha$  всегда будет ниже, чем в случае  $\alpha = const$ , реально остывание воды в трубопроводе будет происходить медленнее (рис.2). Видно, что при  $n=0,33$ , что соответствует верхней оценке данного показателя, когда рассматривается только конвективная составляющая наружного теплообмена, расхождение почти всегда составляет около 10%, что уже достаточно заметно. Анализ имеющихся данных по удельной теплоотдаче теплопроводов дает для  $n$  в большинстве случаев значение около 0,25, т.е. меньше верхнего предела за счет менее интенсивного изменения лучистой компоненты. Поэтому формулу (5) тогда можно переписать в следующем виде:

$$\theta_{ж} = \frac{\theta_{ж,0}}{(1 + NTU_0/4)^4}. \quad (6)$$

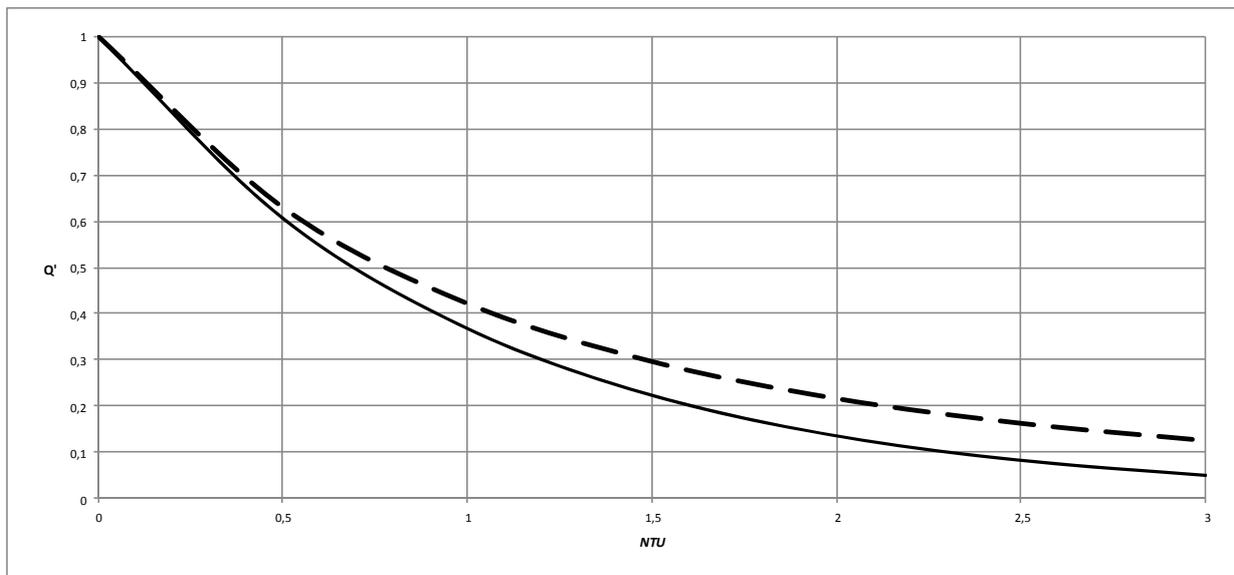


Рис.2. Изменение величины  $\theta' = \theta_{ж}/\theta_{ж,0}$  в зависимости от  $NTU$  (сплошная линия – при  $n=0$ , пунктирная – при  $n=0,33$ ).

Таким образом, принимая во внимание уменьшение коэффициента наружного теплообмена по длине трубопровода, можно в ряде случаев снизить расчетную толщину тепловой изоляции. Кроме того, этот эффект приводит к сокращению действительной величины теплоступлений в помещение от открыто проложенных в нем теплопроводов, что также, безусловно, является положительным обстоятельством. При этом выражение (6) имеет весьма простой вид и вполне доступно для использования в инженерных расчетах с сохранением необходимой точности учета изменения параметра  $\alpha$  по длине трубопровода.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.1. Отопление / Под ред. И.Г.Старовойра и Ю.И.Шиллера.– М.: Стройиздат, 1990. 344 с.
2. Gabrielaitiene I. Numerical simulation of a district heating system with emphases on transient temperature behavior. Pap. of the 8th International Conference «Environmental Engineering», May 19-20, 2011, Vilnius, Lithuania. Vol.2. P.747-754.

3. Kapalo P. Energy efficiency buildings. Energy for hot water.- Technical University of Košice, 2008. P.223-225.

4. EN 15316-3-2 Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 3-2: Domestic hot water systems, distribution.

5. Карев Д.С., Мельников В.М. Математическое моделирование тепловых сетей закрытых систем централизованного теплоснабжения // Вестник МГСУ. 2011. №7. С.444-451.

6. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Анализ тепловых потерь теплотрубопроводов в условиях взаимодействия с влажным воздухом // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. №2. С.37-39.

7. Парфентьева Н.А., Самарин О.Д. Решение задачи Стефана при промерзании трубопроводов // Вестник МГСУ. 2007. №1. С.67-70.

8. Махов Л.М., Самарин О.Д. О расчете потерь давления в элементах систем водяного отопления // Вестник МГСУ. 2009. Спецвыпуск 2. С.439-443.

## CALCULATION OF WATER COOLING IN HEAT SUPPLY PIPES AT THE ACCOUNT OF PECULARITIES OF THEIR EXTERNAL HEAT EXCHANGE

O.D. SAMARIN, Ph.D. (Tech.)

Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoye Shosse., Moscow, 129337, Russia

**Abstract.** The problem statement on change of the average hot fluid temperature through the length of building engineering systems and external pipe nets using liquid water as working fluid under boundary conditions of the third type is considered. The system of algebraic equations of external heat exchange and internal heat transfer at the account of the power dependence of the full external heat exchange coefficient from the disposal temperature difference between water and surrounding air is presented. The analytical solution of the given system is obtained for change of the average cross-sectional water temperature. The dependence of cooling velocity from the index of power in the expression for the external heat exchange coefficient is shown. The analysis of the obtained results is given and the trend of influence of the actual cooling velocity on thickness of the pipe thermal insulation is detected. The presentation is illustrated with numerical and graphical examples.

**Key words:** pipe, heat exchange coefficient, heat balance, number of heat transfer units, velocity of cooling.

#### REFERENCES.

1. Spravochnik proektirovshchika. Vnutrennie sanitarno-tekhicheskie ustroystva. Ch.1. Otoplenie / Pod red. I.G.Staroverova i Yu.I.Shillera.– Moscow, Stroizdat, 1990, 344 p.
2. Gabrielaitiene I. Numerical simulation of a district heating system with emphases on transient temperature behavior. Pap. of the 8th International Conference «Environmental Engineering», May 19-20, 2011, Vilnius, Lithuania. Vol.2. P.747-754.
3. Kapalo P. Energy efficiency buildings. Energy for hot water.- Technical University of Košice, 2008. P.223-225.
4. EN 15316-3-2 Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 3-2: Domestic hot water systems, distribution.
5. Karev D.S., Mel'nikov V.M. Matematicheskoe modelirovanie teplovykh setei zakrytykh sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya // Vestnik MGSU, 2011, No.7, p.444-451.
6. Kuznetsov G.V., Polovnikov V.Yu. Analiz teplovykh poter' teplotrupoovodov v usloviyakh vzaimodeistviya s vlazhnykh vozdukhom // Energoberezhenie i vodopodgotovka, 2009, No.2, p.37-39.
7. Parfent'eva N.A., Samarina O.D. Reshenie zadachi Stefana pri promerzanii truboprovodov // Vestnik MGSU, 2007, No.1, p.67-70.
8. Makhov L.M., Samarina O.D. O raschete poter' davleniya v elementakh sistem vodyanogo otopleniya // Vestnik MGSU, 2009, Spetsvyпуск 2, p.439-443.

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

### ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ МАЛОМ ОБЪЕМЕ ВЫБОРКИ

**А.И. ГОЛУБОВИЧ**, к.т.н., доцент

**А.С. САФОНОВ**, к.т.н., доцент

ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», 107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38

**Аннотация.** Для электромеханических систем, производимых малыми сериями или уникальных, отсутствует исчерпывающая информация об отказах. Поэтому их надежность трудно оценить. Рассмотрена оценка надежности электромеханических систем на примере электрических машин. Предлагается для оценки надежности электрических машин при малом объеме выборки применять метод последовательных медиан. Определена функция надежности электромеханических систем малой мощности. Отмечено снижение требуемых для испытаний на надежность материально-технических и энергетических ресурсов.

**Ключевые слова:** электромеханические системы, надежность, функция надежности, малая выборка, метод последовательных медиан, ресурсосбережение.

Электромеханическая система (ЭМС) представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих электрических, электромеханических, электронных, механических и информационных преобразователей энергии. В данной работе в качестве ЭМС рассматривается электрическая машина, но рассматриваемые подходы к оценке надежности могут быть применены и для более сложных систем.

В современных условиях проблема ресурсосбережения, энергосбережения, рационального использования материально-технической базы на предприятии приобрела особую актуальность. Следствием этого является появление на рынке энергоэффективных электродвигателей, имеющих повышенный коэффициент полезного действия, а также ресурсосберегающих (малоотходных) технологий их производства. Развитие получил прямой (безредукторный, непосредственный) электропривод рабочих машин, т.е. электропривод, не имеющий механических передаточных звеньев (редукторов, кривошипов и пр.) между электродвигателем и рабочей машиной. Создаются встроенные ЭМС на базе электродвигателей с разомкнутой конструкцией магнитопровода – линейных электродвигателей и их конструктивных модификаций. Отсутствие необходимости в механических передаточных устройствах приводит к снижению массогабаритных показателей, стоимости, повышению надежности. Однако органическое сращивание линейного двигателя с рабочей машиной приводит к необходимости его проектирования под конкретную машину. В этом случае речь идет, как правило, о единичном или мелкосерийном производстве. В России линейные

двигатели серийно не производятся, поэтому отсутствуют систематизированные данные об их отказах. В условиях единичного и мелкосерийного производства также выпускается широкая номенклатура электрических машин для систем специального назначения.

Таким образом, стоит задача оценки надежности электромеханических систем при малом объеме выборки с минимальными затратами материально-технических и энергетических ресурсов.

Эффективность функционирования электромеханической системы зависит от ее надежности. Требуемый уровень надежности достигается путем разработки и реализации соответствующих мероприятий, осуществляемых на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации. Для разработки указанных мероприятий необходима информация о надежности электромеханической системы. Для электрических машин, являющихся изделиями крупносерийного производства, получение такой информации не является сложной проблемой. В случаях же, когда электрическая машина стоит дорого и изготавливается в относительно небольшом количестве, возникает проблема оценки ее надежности по небольшому числу наблюдений, получаемых в результате испытаний или эксплуатации малого (5...30) количества машин. Таким образом, для электрических машин, выпускаемых мелкими сериями, характерна ограниченность информации об отказах, позволяющей судить об их надежности.

Функция надежности  $P(t)$ , представляет собой вероятность безотказной работы в течение заданного времени (наработки до отказа)  $t$ , отсчитываемого от начала эксплуатации.

Зная  $P(t)$ , можно определить все остальные характеристики надежности объекта. Так интенсивность отказов  $\lambda(t)$ , вероятность безотказной работы на заданном интервале времени  $P(t_1, t_2)$  и среднюю наработку до отказа  $t_t$  можно вычислить по формулам:

$$\lambda(t) = f(t)/P(t),$$

где  $f(t) = -dP(t)/dt$ ;

$$P(t_1, t_2) = P(t_2)/P(t_1); m_t = -\int_0^{\infty} t(dP(t)/dt)dt.$$

Таким образом, функция надежности является универсальным показателем надежности объекта, будучи при этом однозначно определяемой через закон распределения  $F(t)$  случайной величины  $T$  - времени безотказной работы:  $P(t) = 1 - F(t)$ .

Согласно принятому в математической статистике методу [1], эмпирическая функция распределения  $F_n(t)$  определяется как ступенчатая кривая (рис.1), имеющая одинаковые скачки в точках принятых случайной величиной значений  $t_1, t_2, \dots, t_n$ :

$$F_n(t) = \begin{cases} 0 & T \leq t_1 \\ i/n & t_1 < T \leq t_{i+1} \\ 1 & T > t_n \end{cases}$$

Здесь  $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$  - последовательность наблюдавшихся значений случайной величины  $T$ , упорядоченная в порядке возрастания (вариационный ряд).

При  $n \rightarrow \infty$  функция  $F_n(t)$  неограниченно приближается к истинной непрерывной кривой распределения  $F(t)$ . Однако при малом числе наблюдений результаты такого способа оценки функции  $F(t)$  оказываются слишком грубыми. Поэтому представляется целесооб-

разным использовать в данном случае предложенный в [2] и [3] способ построения функции  $F_n(t)$  названный методом последовательных медиан (МПМ). Этот метод основан на существующем в математической статистике способе нахождения параметров распределения, называемом методом квантилей [4,5].

Согласно МПМ, вначале определяется медиана вариационного ряда  $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$  и на графике функции  $F_n(t)$  ставится точка с координатами  $t_{me}^*$  и  $F_n(t_{me}^*)$ . Затем находят медианы двух полученных половин вариационного ряда и им ставятся в соответствие значения  $F_n(t)$ , равные 0,25 и 0,75 и т.д. Указанная процедура продолжается до тех пор, пока не будут рассмотрены все имеющиеся значения  $t_i, i=1,2,\dots,n$ . В результате получают ряд точек эмпирической функции распределения  $F_n(t)$ . На рис.1 пунктирной линией показано построение функции  $F_n(t)$  с помощью МПМ по четырем значениям случайной величины  $T$ .

Для определения начального  $t_n$  и конечного  $t_k$  значений функции  $F_n(t)$  в [2,3] предлагается использовать способ, основанный на аппроксимации закона распределения случайного времени безотказной работы треугольным законом распределения как наиболее универсально характеризующим форму унимодальных распределений. Такое предложение основано на том факте, что распределения случайных величин, характеризующих надежность (наработка до отказа, значения физических параметров, характеризующих работоспособность) являются в подавляющем большинстве унимодальными (т.е. одновершинными) асимметричными или симметричными распределениями.

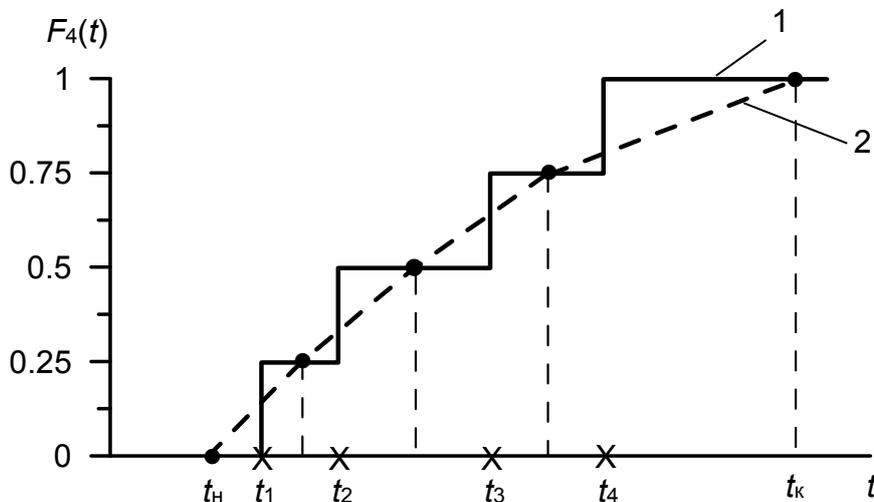


Рис.1. Эмпирическая функция распределения

1 – общепринятый в математической статистике метод построения, 2 – метод последовательных медиан.

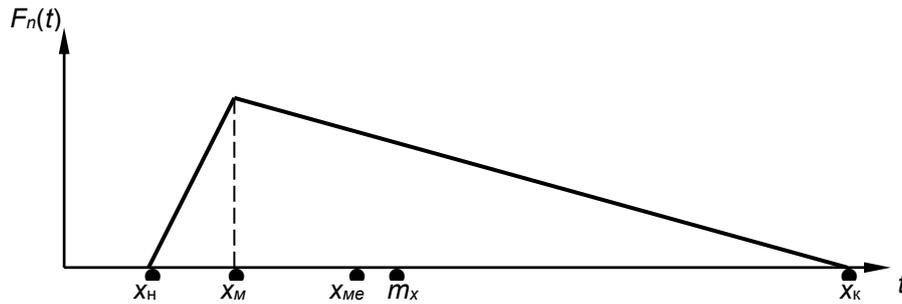


Рис.2. Относительное расположение моды  $X_M$ , медианы  $X_{Me}$  и математического ожидания  $m_x$  в распределении с положительной асимметрией.

На рис.2 представлена кривая плотности треугольного распределения с положительной асимметрией. Начальное и конечное значения эмпирической функции распределения определяются при этом по формулам:

$$t_n = t_1 - (t_2 - t_1)K_1;$$

$$t_k = t_n + (t_n - t_{n-1})K_2,$$

$$\text{где } K_1 = (t_m^* - t_1) / (t_n - t_m^*); K_2 = 1/K_1.$$

При весьма малом объеме статистических данных оценки  $K_1$  и  $K_2$  можно вычислять, полагая  $t_m^* = t_{Me}^*$ .

Эффективность МПМ была проверена авторами работ [2,3] с помощью статистического моделирования на ЭВМ. При этом проверка проводилась для законов распределения: нормального с параметрами  $m_t=0$  и  $\sigma_t=1$ , экспоненциального  $\lambda=1$ , логарифмически нормального с параметрами  $m_t=0$  и  $\sigma_z=1$ , Релея с параметром  $\sigma=1$ . Проводилось также сравнение МПМ с общепринятым («классическим») методом в условиях реального эксперимента при нормальном законе распределения электрической прочности изоляционной конструкции. Результаты проверок во всех указанных случаях показали преимущество МПМ в диапазоне изменения величины  $n$  от 4 до 32.

На основе МПМ проведена оценка надежности электрических машин. На рис.3 представлена функция распределения наработки до отказа электрических машин малой мощности при ускоренных испытаниях, рассчитанная МПМ при  $n=18$  [6]. Оценка надежности ЭМС может быть проведена также по отдельным узлам, учитывая критерии работоспособности узлов. В данном случае рассматривается работоспособность коллекторно-щеточного узла электромашинного преобразователя. Определяющим параметром его работоспособности является биение коллектора, к которому предъявляются, повышенные требования [7]. При назначенном допустимом уровне биения  $\delta_{доп}$  можно определить наработки коллектора. В рассматриваемом случае имеем 4 наработки до отказа:  $t_1=18 \cdot 10^3$  ч,  $t_2=22 \cdot 10^3$  ч,  $t_3=24 \cdot 10^3$  ч,

$t_4=27 \cdot 10^3$  ч. На рис.4 по этим данным построена эмпирическая функция распределения с помощью МПМ и общепринятого метода ЭФР. Сравнение распределений показало, что общепринятый метод оценки надежности при малом числе наблюдений дает завышенную оценку уровня надежности, так как не учитывает возможные отказы при меньших наработках. В рассматриваемом случае отказы коллектора могут наступить уже при  $13 \cdot 10^3$  ч.

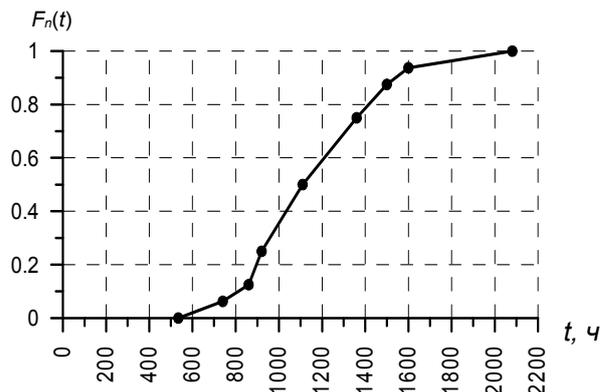


Рис.3. функция распределения наработки до отказа электрических машин малой мощности.

#### Выводы.

1. Метод последовательных медиан дает возможность оценить надежность электрических машин при малых выборках как при испытаниях на надежность, так и при эксплуатации.

2. Появляется возможность более точно назначать время профилактических работ, сокращая число случайных отказов.

3. Сокращаются затраты энергоресурсов при испытаниях, так как сокращаются: число объектов, количество испытательного оборудования, длительность испытаний, энергопотребление.

4. Получение более точной оценки показателей качества ЭМС позволит повысить их качество. В наиболее распространенных в промышленности асинхронных машинах такими показателями являются ток холостого хода, коэффициент мощности и их сочетание.

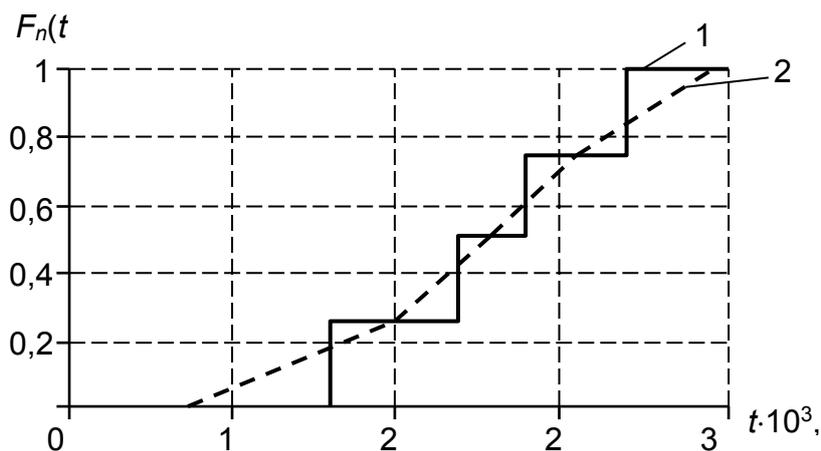


Рис.4. Функция распределения наработки до отказа коллекторно-щеточного узла  
1 – общепринятый в математической статистике метод построения, 2 – метод последовательных медиан.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.- М.: Высшая школа, 1998.
2. Дружинин Г.В., Воронова О.В. Сравнение методов построения эмпирической функции распределения по малому числу наблюдений // Надежность и контроль качества. 1983. №1.
3. Дружинин Г.В., Воронова О.В. Об одном способе построения эмпирической функции распределения по малому числу наблюдений // Сб. Статистические методы обработки наблюдений при контроле качества и надежности машин и приборов.- Л.: ЛДНТИ, 1979.

С.10-13.

4. Математические методы в теории надежности / Б.В.Гнеденко [и др.]- М.: Наука, 1965.
5. Крамер Г. Математические методы статистики.- М.: Наука, 1975.
6. Ермолин Н.П., Жерихин И.П. Надежность электрических машин.- Л.: Энергия, 1976.
7. Голубович А.И. О выборе критериев работоспособности и критериев отказа коллекторно-щеточного узла // Труды МЭИ. Вып.314. 1977. С.54-56.

## ASSESSMENT OF RELIABILITY OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS AT THE SMALL VOLUME OF SELECTION

A.I. GOLUBOVICH, Ph.D. (Tech.)

A.S. SAFONOV, Ph.D. (Tech.)

Moscow State Technical University "MAMI", 38, B. Semenovskaya Str., Moscow, 107023, Russia

**Abstract.** For the electromechanical systems made by small series or unique, there is no exhaustive information on refusals. Therefore, it is difficult to estimate their reliability. The assessment of reliability of electromechanical systems on the example of electrical machines is considered. It is offered at the small volume of selection to apply a method of consecutive medians to an assessment of reliability of electrical machines. Function of reliability of electromechanical systems of low power is defined. Decrease in the material and energy resources demanded for fail-safe tests is noted. The assessment of reliability of electromechanical systems can be carried out on separate knots, considering criteria of operability of knots. In this case, operability of collector and brush knot of the electro machine converter is considered. The defining parameter of its working capacity is the beating of a collector to which are shown, increased requirements. At the appointed admissible level of a beating, it is possible to define collector practices.

**Key words:** electromechanical systems, reliability, reliability function, small selection, method of consecutive medians, resource saving.

#### REFERENCES.

1. Venttsel' E.S. Teoriya veroyatnostei.- Moscow, Vysshaya shkola, 1998.
2. Druzhinin G.V., Voronova O.V. Sravnienie metodov postroeniya empiricheskoi funktsii raspredeleniya po malomu chislu nablyudenii // Nadezhnost' i kontrol' kachestva, 1983, No.1.
3. Druzhinin G.V., Voronova O.V. Ob odnom sposobе postroeniya empiricheskoi funktsii raspredeleniya po malomu chislu nablyudenii // Sb. Statisticheskie metody obrabotki nablyudenii pri kontrole kachestva i nadezhnosti mashin i priborov.- Leningrad, LDNTI, 1979, p.10-13.
4. Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti / B.V.Gnedenko and others.- Moscow, Nauka, 1965.
5. Kramer G. Matematicheskie metody statistiki.- Moscow, Nauka, 1975.
6. Ermolin N.P., Zherikhin I.P. Nadezhnost' elektricheskikh mashin.- Leningrad, Energiya, 1976.
7. Golubovich A.I. O vybore kriteriev rabotosposobnosti i kriteriev otkaza kollektorno-shchetochno go uzla // Trudy MEI, Vol.314, 1977, p.54-56.

## ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ

### РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСАДКОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОДЫ ЩЕЛОЧНЫМИ КОМПОЗИТАМИ

И.В. СЕМЕНОВА<sup>1</sup>, д.т.н., профессор

С.В. СИМОНОВА<sup>2</sup>, инженер

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», 107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38

<sup>2</sup>ОАО «Машиностроительный завод», 144001, Московская обл., г. Электросталь, ул. Карла Маркса, 12

**Аннотация.** Исследован состав осадков, полученных при обработке воды растворами щелочи и универсальным щелочным композитом Гидро-Икс (Hydro-X), Дания. Показано, что при обессоливании воды одновременно удаляются из раствора катионы железа и стронция. При этом в состав кристаллического осадка не входят соединения алюминия и кремния. В настоящей работе представлены результаты по рентгенографическому изучению состава осадков, полученных при обработке артезианской воды г. Электросталь Московской области щелочными реагентами. По одному из вариантов в качестве щелочного реагента использовали композиционный препарат для очистки воды Hydro-X (Дания). Этот препарат имеет всемирную известность и обладает комплексом уникальных свойств. Он соединяет в себе функции умягчителя воды (предотвращает появление накипи на поверхностях теплообменных элементов оборудования), ингибитора коррозии и улучшает физико-химические свойства воды. Композит имеет природное происхождение, сложный состав, состоит из неорганических и органических добавок, и является экологически безопасным препаратом.

**Ключевые слова:** рентгенографический анализ, обессоливание воды, ДРОН-2, кристаллический осадок, Гидро-Икс.

Обработку воды щелочными реагентами проводят для уменьшения её жесткости. При повышении показателя рН находящиеся в растворенном состоянии катионы «жесткости» - кальций и магний - образуют нерастворимые соединения  $[\text{CaCO}_3$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ] и выпадают в осадок.

В связи с увеличением объёмов потребления воды и вовлечением в промышленное использование новых видов водных ресурсов технология водоподготовки изменяется.

Появляются новые более универсальные композиции реагентов, процесс снижения жесткости совмещают с удалением из воды других примесей.

В связи с этим становятся актуальными новые виды исследования процесса обессоливания воды, одним из которых является изучение состава и структуры образующихся осадков.

Метод рентгеноструктурного исследования позволяет идентифицировать кристаллические соединения, которые входят в состав осадка [1]. Эти соединения являются инертными, не реагируют с почвенными водами и являются наиболее экологически безопасными при хранении на полигонах.

Технологические схемы водоподготовки должны быть смоделированы таким образом, чтобы при получении обессоленной воды образовывался кристаллический осадок. Желательно, чтобы в состав осадков входили

не только катионы жесткости, но и примеси токсичных металлов, которые находятся в исходной воде.

Сведения, которые получают при проведении рентгенографического анализа, представляют возможность сделать заключение об эффективности использования конкретного щелочного реагента и технологии проведения процесса водоподготовки.

Для проведения качественного рентгеноструктурного анализа использовали дифрактометр ДРОН-2.

Фазовый рентгеноструктурный анализ основан на получении и расшифровки дифрактограммы, возникающей в результате интерференции рентгеновских лучей, рассеянных электронами атомов облучаемого объекта. Поскольку каждая кристаллическая фаза дает индивидуальную картину расположения дифракционных максимумов и их интенсивности, то получение полной дифракционной картины даёт возможность для определения числа и соотношения кристаллических фаз в системах различной сложности.

Дифрактограмма смеси различных веществ представляет собой сумму дифрактограмм отдельных веществ, которые подвергаются идентификации на основании эталонных кристаллических образцов.

Для расшифровки диаграмм мы использовали компьютерную программу

XPL.FXF «Рентгеновский фазовый идентификатор». Программа предназначена для проведения качественного фазового анализа поликристаллических веществ. Она осуществляет поиск и идентификацию фаз по картотеке JCPDS (ASTM), которая содержит сведения о 29509 соединениях. Для идентификации конкретного соединения используют значения длины волны, брегговского угла и интенсивности. Пересчёт угла в межплоскостное расстояние в соответствии с длиной волны осуществляется автоматически.

Эксперименты по изучению состава осадков были проведены на воде, полученной из артезианских скважин г.Электросталь МО [2]. Испытуемая вода характеризуется следующими показателями. Карбонатная жесткость колеблется в пределах 3,7-5,8 мг-экв/л. Некарбонатная жесткость близка к нулю. Вода имеет низкую концентрацию ионов аммония и нитрат-ионов, что свидетельствует об отсутствии загрязнения сточными водами. Суммарная концентрация катионов натрия и калия не превышала 0,6 мг-экв/л. По микрокомпонентному составу воду можно характеризовать как кремнисто-железистую. Содержание некоторых компонентов превышало значение ПДК. Так, в отдельных пробах воды концентрация кремния превышала значения ПДК в 5-7 раз, стронция - в 4-5 раза, железа - в 3-12 раз.

Одной из основных задач при подготовке воды для этого региона является разработка технологии, обеспечивающей её комплексную очистку как от катионов жесткости, так и от примесей-экоотоксикантов.

Были выбраны два варианта обработки воды.

В качестве первого варианта для обработки воды использовали растворы гидроксида натрия. Это наиболее упрощенная модель процесса. Все изменения, которые были отмечены в экспериментах, обусловлены только концентрацией водородных ионов в растворе. Реактивы готовили в лаборатории на основе щелочи NaOH (ГОСТ 4328-77).

По второму варианту в качестве щелочного реагента использовали композиционный препарат для очистки воды Hydro-X (Дания).

Этот препарат имеет всемирную известность и обладает комплексом уникальных свойств [3]. Он соединяет в себе функции умягчителя воды, ингибитора коррозии [4] и улучшает физико-химические свойства воды.

Композит имеет природное происхождение, сложный состав, состоит из неорганических [5] и органических добавок [6], и является экологически безопасным препаратом [7].

Обессоливание воды проводили по технологии, описанной в более ранних наших работах [8].

При обработке воды щелочными реагентами получали воду с осадком. По окончании опытов осадок отфильтровали. Далее осадок подсушивали в печи при температуре 110-120 °С или прокачивали при температуре 700 °С. Отличий в составе кристаллической фазы осадка в зависимости от режима тепловой обработки мы не обнаружили.

Наиболее значимые результаты были получены в опытах, проведенных при различных значениях pH. Эти результаты для двух вариантов проведения эксперимента представлены в табл.1 и 2.

В табл.1 представлен состав осадков, полученных при обработке воды растворами щелочи при температуре 70 °С при различных значениях pH.

Таблица 1

Идентификация состава осадков, полученных при обработке воды растворами щелочи при различных значениях pH

pH=8,12		pH=10,44		pH=11,97	
CaO	CaCO <sub>3</sub>	CaO	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		FeO		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> C	
SrO <sub>2</sub>		SrO		Sr	
	SrFeO <sub>2,5</sub>		CaFe <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		Sr <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Sr <sub>2</sub> FeO <sub>4</sub>				
	Sr <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>7</sub>				

Таблица 2

Идентификация состава осадков, полученных при обработке воды растворами Гидро-Икс (Hydro-X), при различных значениях pH

pH=8,44		pH=10,06		pH=10,84		pH=12,4	
CaO	CaCO <sub>3</sub>	CaO	CaCO <sub>3</sub>	CaO	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	
FeO		FeO		Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>		Fe <sub>2</sub> C	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ca <sub>4</sub> Fe <sub>14</sub> O <sub>25</sub>		Fe	
FeC		SrO		SrO		FeO	
	MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Ca(Sr)O		SrFeO <sub>2,5</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		SrFeO <sub>2,5</sub>		Sr <sub>2</sub> FeO <sub>4</sub>		Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	
		Sr <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		Sr <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>6,16</sub>	
		Sr <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>7</sub>				SrO	
						SrCO <sub>3</sub>	
						SrFeO <sub>2,5</sub>	
						Sr <sub>2</sub> FeO <sub>4</sub>	

В табл.2 представлен состав осадков, полученных при обработке воды растворами Гидро-Икс (Hydro-X), при температуре 70 °С при различных значениях рН. Рентгенографическое исследование позволяет определить качественный состав осадков. Однако, некоторое заключение о количественном изменении элементов можно получить, если проанализировать значения интенсивности аналитических линий на диаграммах осадков, полученных при различных режимах проведения процесса обессоливания. Результаты таких измерений представлены в табл.3.

Таблица 3  
Интенсивность аналитических линий (К) основных элементов из состава образцов, полученных при различных режимах обессоливания воды

Режим обессоливания	Кальций (Ca)	Железо (Fe)	Стронций (Sr)
Обработка NaOH, рН=10,44	254	48	768
Обработка NaOH, рН=11,9	237	94	848
Обработка Гидро-Икс, рН=10,84	257	86	708

При значениях рН, равных 10,44 и 11,9 (обработка NaOH), а также при рН=10,84 (обработка Гидро-Икс), линии интенсивности для кальция имеют близкие значения. Можно предположить, что при этих значениях концентраций ионов водорода в растворе степень осаждения кальция вышла на максимальные значения [8,9].

Степень осаждения железа возрастает при повышении значений показателя рН для щелочных растворов и при замене щелочи на сложный композит - Гидро-Икс (Hydro-X). Можно предположить, что выведению железа и стронция из раствора в твердую фазу будет способствовать замена растворов щелочи на сложные щелочные реагенты [10].

Полученные данные позволяют сделать ряд выводов.

1. Осадки, которые получают при обработке воды щелочными препаратами содержат в кристаллической форме оксиды, соли и сложные соединения, включающие несколько металлов.

2. Не зависимо от вида применяемого реагента в состав осадков входят соединения кальция, железа и стронция. Этот результат имеет важное практическое значения. Он показывает, что при проведении процесса обессоливания воды она дополнительно

очищается от примесей железа и стронция.

3. В осадках отсутствуют соединения магния, алюминия и кремния. Этот результат может быть обусловлен несколькими причинами, различными для каждого отдельного элемента.

Возможно, что магний, как это было показано в более ранних работах, образует твердую фазу при более высоких значениях рН [11].

Кремний при обработке щелочью образует гелеподобные амфотерные соединения, которые меняют свою структуру и состав во времени. Такие соединения не фиксируются на рентгенограммах [12].

Алюминий при условиях проведения экспериментов имеет высокую растворимость в водных растворах. Поэтому он остается в жидкой фазе или уходит в промывную воду при фильтрации [13].

В практическом плане можно констатировать, что при проведении процесса обессоливания воды щелочными реагентами очистка воды от соединений кремния и алюминия не происходит.

4. При использовании Гидро-Икс (Hydro-X), состав осадков получается более сложным. Сложные композиты имеют многофункциональное действие. Они обеспечивают более высокую степень очистки воды, уменьшают коррозионную активность растворов и улучшают их физико-химические и органолептические свойства [3,4,7].

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Пушаровский Д.Ю. Рентгенография минералов.- М.: ЗАО «Геоинформарк», 2000. 288 с.
2. Семенова И.В., Зыбина Н.Ю., Щеголева Ю.И. Приоритетные экотоксиканты Подмосковья // Энергосбережение и водоподготовка. 2013. №3. С.57-60.
3. Марченко Е.М., Пермяков А.Б., Семенова И.В. Метод водоподготовки для предотвращения накипи и коррозии в системах водоснабжения промышленной энергетики // Энергосбережение и водоподготовка. 2011. №4. С.44-48.
4. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.Б. Коррозия и защита от коррозии.- М.: Физматлит, 2010. 437 с.
5. Семенова И.В., Симонова С.В. Идентификация неорганических компонентов в препарате для коррекционной обработки воды Гидро-Икс // Известия Академии промышленной экологии. 2005. №2. С.36-38.
6. Семенова И.В., Кошелева Л.Ф., Хорошилов А.В. Хромато-масспектрометрическое исследование состава органических примесей в природных коагулянтах // Известия Академии промышленной экологии. 2003. №1. С.71-74.
7. Разработка эколого-рыбохозяйственных нормативов (ПДК и ОБУВ) на примере реагента Гидро-

Х для обработки воды / С.А.Соколова [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. 2005. №3. С.35-37.

8. Хорошилов А.В., Семенова И.В. Модель образования карбоната кальция в слабощелочных растворах // Энергосбережение и водоподготовка. 2005. №5. С.25-27.

9. Хорошилов А.В., Семенова И.В., Симонова С.В. Закономерности образования кальцита при щелочной обработке воды // Энергосбережение и водоподготовка. 2004. №3. С.20-22.

10. Семенова И.В., Хорошилов А.В., Симонова С.В. Условия осаждения железа из воды //

Энергосбережение и водоподготовка. 2006. №5. С.7-10.

11. Семенова И.В., Хорошилов А.В., Симонова С.В. Кинетика осаждения катионов кальция и магния в природной артезианской воде // Энергосбережение и водоподготовка. 2005. №3. С.16-17.

12. Семенова И.В., Симонова С.В., Хорошилов А.В. Очистка воды от соединений кальция в присутствии соединений кремния // Энергосбережение и водоподготовка. 2004. №1. С.25-27.

13. Семенова И.В. Осаждения алюминия в коагулированной воде // Энергосбережение и водоподготовка. 2014. №6. С.8-12.

## X-RAY RADIOGRAPHIC STUDIES OF SLUDGES IN WATER TREATMENT BY ALKALINE COMPOSITE

I.V. SEMENOVA<sup>1</sup>, D.Sc. (Tech.)

S.V. SIMONOVA<sup>2</sup>, Eng.

<sup>1</sup>Moscow State Technical University "MAMI", 38, B. Semenovskaya Str., Moscow, 107023, Russia

<sup>2</sup>JSC «Mashinostroitelny Zavod», 12, K.Marksa Str., Elektrostal, Moscow Region, 144001, Russia

**Abstract.** It is made study of composition of sludge obtained in water treatment in the processing of water solutions of alkali and alkaline universal composite Hydro-X, Denmark. It is shown that when water desalination are simultaneously removed from a solution of iron cations and strontium. In the composition of the precipitate is not crystalline compound composed of aluminum and silicon. This paper presents the results on the radiographic study of the deposits obtained in the processing of artesian water Elektrostal, Moscow Region by alkaline reagents. One of the main tasks in the preparation of water for the region is to develop technology for its comprehensive cleaning both the hardness cations, and the impurities-toxicants. Two variants were selected treatment water. In a first embodiment of water treatment using sodium hydroxide solutions. This is the most simplified model of the process. All changes that have been observed in experiments caused only concentration of hydrogen ions in solution. According to the second embodiment, as the alkaline reagent composition used for the preparation of water purification Hydro-X (Denmark). This reagent is known worldwide and has a complex of unique properties. It combines the function of the water softener (prevents scaling on the surfaces of heat exchange elements equipment), corrosion inhibitor and improves the physical-chemical properties of water. The composite has a natural origin, a complex structure consisting of inorganic and organic additives, and is environmentally safe reagent.

**Key words:** X-ray analysis, water desalination, DRON-2, Hydro-X.

### REFERENCES.

1. Pushcharovskii D.Yu. Rentgenografiya mineralov.- Moscow, ZAO «Geoinformark», 2000, 288 p.
2. Semenova I.V., Zybina N.Yu., Shchegoleva Yu.I. Prioritetnye ekotoksikanty Podmoskov'ya // Energoberezhnie i vodopodgotovka, 2013, No.3, p.57-60.
3. Marchenko E.M., Permyakov A.B., Semenova I.V. Metod vodopodgotovki dlya predotvrashcheniya nakipi i korrozii v sistemakh vodosnabzheniya promyshlennoi energetiki // Energoberezhnie i vodopodgotovka, 2011, No.4, p.44-48.
4. Semenova I.V., Florianovich G.M., Khoroshilov A.B. Korroziya i zashchita ot korrozii.- Moscow, Fizmatlit, 2010, 437 p.
5. Semenova I.V., Simonova S.V. Identifikatsiya neorganicheskikh komponentov v preparate dlya korrektsionnoi obrabotki vody Gidro-Iks // Izvestiya Akademii promyshlennoi ekologii, 2005, No.2, p.36-38.
6. Semenova I.V., Kosheleva L.F., Khoroshilov A.V. Khromato-masspektrometricheskoe issledovanie sostava organicheskikh primesei v prirodnykh koagulyantakh // Izvestiya Akademii promyshlennoi ekologii, 2003, No.1, p.71-74.
7. Razrabotka ekologo-rybokhozyaistvennykh normativov (PDK i OBUV) na primere reagenta Gidro-Kh dlya obrabotki vody / S.A.Sokolova and others // Energoberezhnie i vodopodgotovka, 2005, No.3, p.35-37.
8. Khoroshilov A.V., Semenova I.V. Model' obrazovaniya karbonata kal'tsiya v slaboshchelochnykh rastvorakh // Energoberezhnie i vodopodgotovka, 2005, No.5, p.25-27.
9. Khoroshilov A.V., Semenova I.V., Simonova S.V. Zakonomernosti obrazovaniya kal'tsita pri shchelochnoi obrabotke vody // Energoberezhnie i vodopodgotovka, 2004, No.3, p.20-22.
10. Semenova I.V., Khoroshilov A.V., Simonova S.V. Usloviya osazhdeniya zheleza iz vody // Energoberezhnie i vodopodgotovka, 2006, No.5, p.7-10.
11. Semenova I.V., Khoroshilov A.V., Simonova S.V. Kinetika osazhdeniya kationov kal'tsiya i magniya v prirodnoi artezianskoi vode // Energoberezhnie i vodopodgotovka, 2005, No.3, p.16-17.
12. Semenova I.V., Simonova S.V., Khoroshilov A.V. Ochistka vody ot soedinenii kal'tsiya v prisutstvii soedinenii kremniya // Energoberezhnie i vodopodgotovka, 2004, No.1, p.25-27.
13. Semenova I.V. Osazhdeniya alyuminiya v koagulirovannoi vode // Energoberezhnie i vodopodgotovka, 2014, No.6, p.8-12.

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ТЕПЛОТДАЧИ НАВЕСНОГО КОНВЕКТОРА ОТОПЛЕНИЯ С ПЛАСТИНЧАТЫМИ РЕБРАМИ ОХЛАЖДЕНИЯ

Ю.И. ДРОН, инженер

Б.Г. БАЛМАЕВ<sup>1</sup>, к.э.н., генеральный директор

<sup>1</sup>ЗАО «НИИЦемент», 142101, Московская обл., г. Подольск, ул. Плещеевская, 15

**Аннотация.** Проведен расчет максимальной мощности теплоотдачи навесного конвектора с регулируемой теплоотдачей, ребра охлаждения у которого выполнены из тонких металлических пластин прямоугольной формы. Установлено, что навесной конвектор со съёмными накладками и пластинами оребрения по своим тепловым, техническим и эксплуатационным характеристикам не только не уступает обычным конвекторам, но и превосходит их. Система регулирования теплоотдачи конвектора не требует использования дополнительной запорно-регулирующей арматуры и не оказывает никакого влияния на теплоноситель системы отопления. Кроме того, легкость в монтаже и демонтаже съёмного оборудования позволяет практически без особых затруднений производить очистку накладок и пластин оребрения нагревательного элемента от пыли, что значительно облегчает уход за конвектором и улучшает его санитарно-гигиенические характеристики.

**Ключевые слова:** навесной конвектор, система отопления, теплоснабжение, энергосбережение, теплоотдача.

Появление новых разработок в области надежного энергосберегающего оборудования и ужесточение требований к экономии тепловой энергии предопределили широкое внедрение систем отопления с качественно-количественным регулированием теплоотдачи. Известно, что качественное регулирование обеспечивается за счет изменения температуры подаваемого в систему теплоносителя, а количественное – путем изменения количества теплоносителя, подаваемого в отопительные приборы. Приоритетом в реализации количественного регулирования пользуются системы индивидуального автоматического регулирования на базе терморегуляторов и термостатических вентилей, монтируемых на приборы отопления.

Однако не для всех приборов отопления может быть применено индивидуальное количественное регулирование теплоотдачи, т.к. не все приборы в принципе поддаются эффективному управлению с помощью термостатов или терморегуляторов. Кроме того, термостатические вентили или клапаны, как правило, рассчитаны на рабочее давление до  $1,01 \cdot 10^6$  Па, а в любых городских системах отопления возможны гидравлические удары и периоды эксплуатации с возникновением повышенного давления, например, в периоды проведения плановых проверок систем с целью выявления их слабых мест. Вместе с тем, индивидуальное регулирование тепловой мощности отопительных приборов можно использовать не во всех системах отопления. В однетрубных системах, например, такое регулирование не допускается без организации специальных обводок (байпасов) для отопительных приборов, т.к. любая регулировка влияет на поток теплоносителя во всем доме или подъезде.

Одним из существенных ограничений в применении индивидуального количественного регулирования путем установки термо-

регулирующих вентилей или клапанов является качество очистки теплоносителя в системе отопления. Это объясняется тем, что величина рабочего хода клапана, регулирующего площадь пропускного отверстия термостата, составляет всего 0,43-0,45 мм (для жидкостных датчиков) или 0,56-0,58 мм (для газоконденсатных датчиков) [1], т.е. для исключения засоров терморегуляторов в системе отопления должен использоваться хорошо очищенный теплоноситель.

Альтернативным способом регулирования теплоотдачи конвекторов является управление потоком воздуха, проходящего через нагревательный элемент прибора, с помощью воздушного клапана, что не оказывает никакого влияния на характер движения теплоносителя в теплопроводе и не зависит от качества его очистки. В конвекторах марки «Комфорт-20» и «Универсал», например, воздушный клапан позволяет без использования специальной запорно-регулирующей арматуры изменять создаваемый ими тепловой поток в диапазоне от 0 до 70%. Эти конвекторы можно применять как в проточных, так и в однетрубных системах.

Принципиально новый способ регулирования мощности теплового потока заложен в конструкции навесного конвектора с регулируемой теплоотдачей, устройство и принцип работы которого описаны в [2]. Этот конвектор содержит установленные на трубу теплопровода системы отопления съёмные части, каждая из которых выполнена в виде накладки с жестко закрепленными на ней ребрами охлаждения. Конвектор снабжен регулировочной системой, с помощью которой изменяется положение съёмных накладок относительно трубопровода. Регулирование величины теплоотдачи осуществляется посредством вращения специального регулировочного винта, с помощью которого изменяется воздушный за-

зор между накладками и трубой теплопровода, от величины которого напрямую зависит эффективность передачи тепла от теплопровода к накладкам и далее - через пластины оребрения воздуху окружающей среды.

Благодаря тому, что конфигурация внутренней поверхности каждой накладке идентична конфигурации наружной поверхности трубопровода, на котором они закреплены, при полном сведении накладок между собой обеспечивается их плотное прилегание и прижатие к трубопроводу с теплоносителем, а, значит, – и максимальная теплоотдача конвектора. При максимальном разведении накладок относительно друг друга воздушные зазоры, выполняющие теплоизоляционную функцию между накладками и трубой теплопровода, которая является основанием нагревательного элемента навесного конвектора, становятся наибольшими, а его теплоотдача – минимальной и равной теплоотдаче только трубы нагревательного элемента.

Пользуясь методикой, изложенной в [3], нами проведен расчет максимальной мощности теплоотдачи навесного конвектора с регулируемой теплоотдачей, ребра охлаждения у которого выполнены из тонких металлических пластин прямоугольной формы. В качестве расчетной модели такого конвектора принят прибор, нагревательный элемент которого по конструкции полностью идентичен нагревательному элементу конвектора марки «Комфорт-20» модели КСК20-0,655 (выполнен в виде U-образной трубы с двумя горизонтально размещенными ветвями) и имеет следующие конструктивные параметры и характеристики:  $L_k$  - общая длина конвектора,  $L_k=826,0$  мм;  $d_{тркн}$  - наружный диаметр трубы нагревательного элемента,  $d_{тркн}=26,8$  мм;  $d_{трквн}$  - внутренний диаметр трубы нагревательного элемента,  $d_{трквн}=21,2$  мм;  $d_э$  - эквивалентный диаметр трубы нагревательного элемента,  $d_э=19,0$  мм (выбран с учетом зарастания трубы на основе данных, приведенных в [4]);  $L_{рабк}$  - длина оребренного участка трубы нагревательного элемента,  $L_{рабк}=540,5$  мм;  $l_{пр}$  - суммарная длина прямых участков неоребренной части трубы нагревательного элемента конвектора,  $l_{пр}=447,20$  мм;  $l_{ос}$  - расстояние между осями соседних ветвей трубы нагревательного элемента,  $l_{ос}=80,0$  мм;  $l_{заг}$  - длина загнутого участка (калача) трубы нагревательного элемента,  $l_{заг}=125,66$  мм (определено расчетно при  $d_{тркн}=26,8$  мм и  $l_{ос}=80,0$  мм);  $l_{првет}$  - длина прямолинейного участка одной ветви трубы нагревательного элемента конвектора,  $l_{првет}=775,1$  мм;  $\lambda_{трк}$  - теплопроводность материала трубы нагревательного элемента (стали),  $\lambda_{трк}=45$  Вт/(м·°C);  $L_{трк}$  - длина трубы нагревательного элемента конвектора,  $L_{трк}=2l_{првет}+l_{заг}=2\cdot 775,10+125,66=1675,86$  мм.

Съемные накладки, размещенные на нагревательном элементе, выполнены из стальной трубы и имеют следующие параметры:  $d_{трвстн}$  - наружный диаметр накладки,  $d_{трвстн}=33,5$  мм;  $d_{трвствн}$  - внутренний диаметр накладки,  $d_{трвствн}=26,8$  мм (равен внешнему диаметру трубы нагревательного элемента);  $\delta_{накл}$  - толщина стенки накладки,  $\delta_{накл}=3,5$  мм;  $l_{всткприп}$  - припуск на длину накладки,  $l_{всткприп}=11$  мм (принято конструктивно по 5,5 мм от крайних пластин;  $\mu_{вод}$  - кинематическая вязкость горячего теплоносителя,  $\mu_{вод}=0,00000032$  с/м<sup>2</sup> (при температуре 90 °C);  $\lambda_{вод}$  - теплопроводность горячего теплоносителя,  $\lambda_{вод}=0,58$  Вт/(м·°C);  $\rho_{вод}$  - плотность горячего теплоносителя,  $\rho_{вод}=1000$  кг/м<sup>3</sup>;  $C_{вод}$  - объемная теплоемкость горячего теплоносителя,  $C_{вод}=4189$  кДж/(м<sup>3</sup>·°C);  $c_{вод}$  - удельная теплоемкость горячего теплоносителя,  $c_{вод}=4220$  Дж/(кг·°C).

Нагреваемый навесным конвектором воздух окружающей среды характеризуется следующими параметрами:  $t_{воз}$  - температура воздуха,  $t_{воз}=20$  °C;  $\mu_{воз}$  - кинематическая вязкость воздуха,  $\mu_{воз}=0,0000001506$  с/м<sup>2</sup> (при температуре 20 °C);  $\lambda_{воз}$  - теплопроводность воздуха,  $\lambda_{воз}=0,034$  Вт/(м·°C);  $\beta_{воз}$  - температурный коэффициент объёмного расширения воздуха,  $\beta_{воз}=0,003665$  °C<sup>-1</sup>.

Теплопровод системы отопления представляет собой стальную трубу, идентичную трубе нагревательного элемента навесного конвектора, и имеет следующие характеристики:  $d_n$  - наружный диаметр трубы,  $d_n=26,8$  мм;  $d_{вн}$  - внутренний диаметр трубы,  $d_{вн}=21,2$  мм;  $\delta_{стен}$  - толщина стенки трубы,  $\delta_{стен}=2,8$  мм;  $\omega_{ср}$  - средняя скорость горячего теплоносителя,  $\omega_{ср}=0,2833$  м/с;  $W_v$  - расход горячего теплоносителя,  $W_v=0,100$  кг/с;  $\lambda_{тр}$  - теплопроводность материала трубы (стали),  $\lambda_{тр}=45$  Вт/(м·°C);  $t_{вх}$  - температура горячего теплоносителя на входе в трубу длиной  $l_{тр}=2,5$  м,  $t_{вх}=90$  °C;  $t_{пад}$  - средняя величина падения температуры горячего теплоносителя на один этаж здания,  $t_{пад}=1,211$  °C (принято в соответствии с нормативами [5] при высоте помещения  $h=2,5$  м);  $t_{вых}$  - температура горячего теплоносителя на выходе из трубы длиной  $l_{тр}=2,5$  м,  $t_{вых}=t_{вх}-t_{пад}=88,789$  °C;  $l_{тр}$  - длина трубы,  $l_{тр}=2,50$  м (принято в соответствии с высотой  $h$  помещения).

Результаты расчета основных тепловых характеристик принятой модели навесного конвектора с регулируемой теплоотдачей приведены в табл.1. Расчет проведен для условия, при котором оребренные накладки максимально сдвинуты между собой, т.е. плотно прижаты к трубе нагревательного элемента конвектора и величина воздушного зазора  $\delta_{пр1}$  между накладками и трубой нагревательного элемента равна нулю.

Таблица 1

Результаты расчета основных тепловых характеристик навесного конвектора

Сводная таблица основных тепловых характеристик навесного конвектора			
Мощность теплоотдачи пластин конвектора	Вт	$N_{плк}$	459,03
Мощность теплоотдачи оребренного участка трубы нагревательного элемента конвектора	Вт	$N_{тркчист(рабу)}$	127,78
Полная мощность теплоотдачи оребренного участка конвектора	Вт	$N_{к(рабу)} = N_{плк} + N_{тркчист(рабу)}$	586,82
Мощность теплоотдачи неоребреного участка трубы нагревательного элемента конвектора	Вт	$N_{тркчист}$	59,48
Полная мощность теплоотдачи конвектора	Вт	$N_{к} = N_{к(рабу)} + N_{тркчист}$	646,30

Результаты расчетов показывают, что теплоотдача с поверхности одного погонного метра неоребреной трубы нагревательного элемента конвектора составляет  $N_1=103,83$  Вт/м. При длине трубы нагревательного элемента  $L_{трк}=1675,86$  мм, мощность ее теплоотдачи составляет 174,02 Вт, что соответствует тепловой мощности навесного конвектора при максимально разведенных оребренных накладках. Таким образом, мощность теплоотдачи навесного конвектора может регулироваться в интервале от 174,02 Вт до 646,30 Вт, т.е. – примерно от 26,9% до 100,0% его номинальной мощности. При установке в конвекторе воздушного клапана диапазон регулирования его теплоотдачи может быть значительно расширен. Выше уже отмечалось, что нижняя граница мощности теплоотдачи конвекторов при закрытом воздушном клапане уменьшается ориентировочно на 70%. Следовательно, интервал регулирования этой характеристики при наличии воздушного клапана может составлять от 52,21 Вт до 646,30 Вт, т.е. примерно от 8,1% до 100,0% номинальной мощности теплового потока конвектора.

Максимальная мощность теплоотдачи принятой к рассмотрению модели навесного конвектора составляет  $N_{к}=646,30$  Вт (табл.1), что примерно на 1,33% ниже мощности теплоот-

дачи базовой модели конвектора марки «Комфорт-М» модели КСК20-0,655, полная номинальная мощность которого составляет  $N_{ном}=655$  Вт [3]. Это обусловлено необоснованно завышенной толщиной оребренных накладок, которые приняты в конструкции описанного выше опытного образца. Действительно, накладки навесного конвектора размещаются на трубе нагревательного элемента и не подвергаются разрушительному воздействию со стороны теплоносителя (коррозии, механическому разрушению, перепадам давления и т.д.) поэтому, толщину накладок можно значительно уменьшить. Кроме того, накладки и пластины оребрения могут быть изготовлены из металлов, обладающих более высокой теплопроводностью. В табл.2 для сравнения приведены расчетные значения основных тепловых характеристик и диапазоны регулирования теплоотдачи навесного конвектора, накладки и пластины оребрения которого выполнены из пяти различных по теплопроводности металлов. При этом толщина накладок принята равной 1,0мм, а труба нагревательного элемента выполнена из стали и имеет такие же конструктивные параметры, как в конвекторе марки «Комфорт-М» модели КСК20-0,655.

Таблица 2

Расчетные характеристики навесного конвектора с накладками и пластинами оребрения из разных металлов

Наименование показателя	Ед. изм.	Материал накладок и пластин ребер охлаждения, теплопроводность материала $\lambda$ , Вт/(м·°С)				
		Сталь, $\lambda_{ст}=45$	Латунь, $\lambda_{лат}=110$	Дюралюминий, $\lambda_{дал}=160$	Алюминий, $\lambda_{ал}=209$	Медь, $\lambda_{мед}=390$
Мощность теплоотдачи пластин оребрения	Вт	481,30	526,38	536,27	541,39	549,18
Мощность теплоотдачи с поверхности оребренных накладок	Вт	111,93	112,52	112,65	112,71	112,81
Полная мощность теплоотдачи оребренного участка конвектора	Вт	593,24	638,90	648,92	654,10	661,99
Мощность теплоотдачи (свободного) неоребреного участка трубы нагревательного элемента	Вт	59,48	59,48	59,48	59,48	59,48
Полная мощность теплоотдачи конвектора	Вт	652,72	698,38	708,40	713,59	721,47
Мощность теплоотдачи конвектора при максимально разведенных накладках (мощность теплоотдачи трубы нагревательного элемента)	Вт	174,02	174,02	174,02	174,02	174,02
Диапазон регулирования теплоотдачи конвектора	%	От 26,66 до 100,00	От 24,92 до 100,00	От 24,57 до 100,00	От 24,39 до 100,00	От 24,12 до 100,00
Диапазон регулирования теплоотдачи конвектора при наличии воздушного клапана	%	От 8,00 до 100,00	От 7,48 до 100,00	От 7,37 до 100,00	От 7,32 до 100,00	От 7,24 до 100,00

Использование в навесном конвекторе стальных накладок оребрения, например, толщиной 1,0 мм вместо 2,8 мм позволяет не только снизить его металлоемкость, но и повысить мощность теплоотдачи примерно на 1,0% (с 646,30 Вт до 652,72 Вт). Кроме того, применение накладок и пластин оребрения, изготовленных из металлов с более высокой теплопроводностью, позволяет достичь большей мощности теплоотдачи конвектора. Так, использование накладок и пластин оребрения, выполненных, например, из меди, увеличивает мощность теплоотдачи оребренного участка конвектора примерно на 11,59%, а всего прибора – на 10,53%.

С увеличением теплопроводности металла, который используется для изготовления навесных элементов, возрастает диапазон изменения величины регулирования воздушного зазора  $d_{пр1}$ . Однако, даже при изменении теплопроводности материала накладок и пластин оребрения от 45 Вт/(м·°C) до 390 Вт/(м·°C) (примерно в 8,7 раза), мощность теплоотдачи навесного оборудования изменяется от нуля до максимума в интервалах регулирования воздушного зазора между накладками и трубой нагревательного элемента от нуля до 0,070-0,080 мм.

В заключение следует отметить, что навесной конвектор со съёмными накладками и пластинами оребрения по своим тепловым,

техническим и эксплуатационным характеристикам не только не уступает обычным конвекторам, но и превосходит их. Так, система регулирования теплоотдачи конвектора не требует использования дополнительной запорно-регулирующей арматуры и не оказывает никакого влияния на теплоноситель системы отопления. Кроме того, легкость в монтаже и демонтаже съёмного оборудования позволяет практически без особых затруднений производить очистку накладок и пластин оребрения нагревательного элемента от пыли, что значительно облегчает уход за конвектором и улучшает его санитарно-гигиенические характеристики.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Сасин В.И. Термостаты в российских системах отопления // АВОК. 2004. №5. С.64-68.
2. Пат. №2367850 РФ. Патент на изобретение «Конвектор отопительный навесной с регулируемой теплоотдачей» / Ю.И.Дрон, Б.Г.Балмаев // Промышленная собственность. 2009. №26.
3. Дрон Ю.И., Балмаев Б.Г. Способ аналитического расчета тепловой мощности конвектора отопления с пластинчатыми ребрами охлаждения // Новости теплоснабжения. 2013. №2. С.46-48.
4. Гейнс В.Г., Шевелев А.Ф. О гидравлическом расчете трубопроводов горячего водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 1986. №1. С.5-6.
5. Гершкович В.Ф. Пособие по проектированию систем водяного отопления к СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».- Киев: Укрархстройинформ, 2001.

## ANALYTICAL CALCULATION OF SYSTEM OF REGULATION OF POWER OF THE MOUNTED HEATING CONVECTOR WITH COOLING RIBS PLATE

Yu.I. DRON, Eng.

B.G. BALMAEV<sup>1</sup>, Ph.D. (Econ.)

<sup>1</sup>ZAO "NIICement", 15, Pleshcheevskaya Str., Podolsk, Moscow Region, 142101, Russia

**Abstract.** Calculation of the maximum heat transfer capacity mounted heater with adjustable heat, cooling fins, which are made of thin metal plate of rectangular shape. It is established that mounted convector with removable plates and plates of fins according to its thermal, technical and operational characteristics is not inferior to conventional heaters, but exceeds them. Regulation of heat convector does not require the use of additional valves and has no effect on the coolant heating systems. Besides, ease in installation and dismantle of the removable equipment allows to make practically without special difficulties cleaning of slips and plates of fins of a heating element of dust that considerably facilitates care of the convector and improves its sanitary and hygienic characteristics.

**Key words:** hinged convector, system of heating, heat supply, energy saving, convective heat transfer.

#### REFERENCES.

1. Sasin V.I. Termostaty v rossiiskikh sistemakh otopleniya // AVOK, 2004, No.5, p.64-68.
2. Pat. №2367850 RF. Patent na izobretenie «Konvektor otopitel'nyi navesnoi s reguliruemoi teplotdachei» / Yu.I.Dron, B.G.Balmaev // Promyshlennaya sobstvennost', 2009, No.26.
3. Dron Yu.I., Balmaev B.G. Sposob analiticheskogo rascheta teplovoi moshchnosti konvektora otopleniya s plastinchatymi rebrami okhlazhdeniya // Novosti teplosnabzheniya, 2013, No.2, p.46-48.
4. Geints V.G., Shevelev A.F. O gidravlicheskom raschete truboprovodov goryachego vodosnabzheniya // Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika, 1986, No.1, p.5-6.
5. Gershkovich V.F. Posobie po proektirovaniyu sistem vodyanogo otopleniya k SNiP 2.04.05-91 «Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie».- Kiev: Ukrarkhstroiiinform, 2001.

## ИНФОРМАЦИОННО-ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДДЕРЖКА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

**В.Ф. ОЧКОВ**<sup>1</sup>, д.т.н., профессор

**Е.Е. УСТЮЖАНИН**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент

**ЧЖО КО КО**<sup>1</sup>, аспирант

**В.А. ВОЛОЩУК**<sup>2</sup>, к.т.н., доцент

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14

<sup>2</sup>Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Украина, 33028, г. Ровно, ул. Соборная, 11

**Аннотация.** В статье описан симбиоз информационных технологий и теплотехники – использование открытых сетевых интерактивных расчетов, «облачных» функций и шаблонов для решения частной задачи – функционального обеспечения через Интернет теплотехнических расчетов, в частности, расчетов холодильных машин и тепловых насосов. Данные расчеты стали востребованы в связи с развитием тригенерации и других энергосберегающих и энергоэффективных технологий.

**Ключевые слова:** инженерно-технические расчеты, Интернет, хладагенты, холодильные машины, тепловые насосы, теплофизические свойства веществ, базы данных, Mathcad.

В настоящее время рабочее место инженера (проектировщика, наладчика, эксплуатационника, ремонтника и т.д.) и научно-технического работника обязательно оборудовано компьютером со скоростным и бесперебойным выходом на корпоративный сервер и/или в Интернет. Когда у специалиста возникает некий «научно-технический вопрос», то его рука тянется уже не к полке с книгами и журналами, а к... мышке компьютера. И это понятно. В век доминирования информационных технологий научно-техническая информация перемещается с бумажных носителей в Интернет. Эту тенденцию еще при ее зарождении почувствовали в Московском энергетическом институте и создали сервер с сетевыми открытыми интерактивными расчетами процессов, аппаратов и технологий тепловой, атомной и промышленной энергетики, а также с функциями по свойствам рабочих тел, теплоносителей и конструкционных материалов. Если в среде, например, поисковой машины Google (или какой-нибудь другой: Yandex, Yahoo, Rambler и др.) сделать запрос по ключу «Расчеты в Интернете», то первой в списке найденных ссылок окажется ссылка на расчетный сервер МЭИ.

Это свидетельствует о высокой востребованности расчетного сервера МЭИ и о том, что инженерная составляющая еще не полностью задавлена экономическими вопросами.

Значительная часть ресурсов данного сервера связана с теплофизическими свойствами рабочих тел и теплоносителей. В первую очередь такая направленность сервера связана с водой и водяным паром, а также дымовыми газами [1]. Без таких расчетов невозможно спроектировать паротурбинный, газотурбинный и парогазовый цикл. Но в последнее вре-

мя в связи с развитием альтернативных термодинамических циклов и энергосберегающих теплонасосных технологий на расчетном сервере МЭИ стали размещаться соответствующие новые ресурсы. Так по Интернет-адресу <http://tw.t.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/Rankin-Ethanol-rus.xmcd> расположен интерактивный открытый расчет паротурбинного цикла (цикла Ренкина) на органическом рабочем теле (ORC) – на этаноле. По адресу <http://tw.t.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/CO2-cycle.xmcd> можно найти расчет паротурбинного цикла на сверхкритическом CO<sub>2</sub>. Подобные паротурбинные установки в настоящее время стали использоваться для утилизации сбросного тепла от коммунальных и промышленных объектов, для повышения эффективности теплоснабжения. Расчеты таких установок, естественно, опираются на функции, имеющие в качестве аргументов параметры рабочего тела (температура, давление и др.) и возвращающие теплофизические свойства этих рабочих тел – температуру и давление кипения, удельную энтальпию, удельную энтропию, плотность, вязкость, теплопроводность и др. Использование тепловых насосов в целях энергоэффективности и энергосбережения потребовало разработки и размещения на расчетном сервере МЭИ данных по свойствам хладагентов. С первого взгляда может показаться, что хладагентам не место в теплоэнергетике, которая, как правило, имеет дело с высокими (тепло!), а не низкими (холод!) температурами. Но в настоящее время развивается новое направление в энергетике – тригенерация, связанная с производством на одной энергоустановке тепла, электроэнергии и холода [2]. Кроме того, усилившееся в последнее время внимание к вопросам энергосбережения

и энергоэффективности дало дополнительный толчок процессу использования тепловых насосов при теплоснабжении промышленных и коммунальных объектов, когда отопление здания обеспечивается не только за счет потребления электроэнергии, но и за счет «перекачивания» тепла от холодного источника к теплomu [3]. Если при расчете холодильной машины или теплового насоса нужно узнать теплофизические свойства хладагента (рабочего тела), то по одной из ссылок, можно ввести новые значения давления и/или температуры и не только получить значение удельной энтальпии этого хладагента с разными единицами измерения, но и видеть рабочую точку на семействе изотерм и изобар, что очень важно для целей образования и самообразования. На сайте, есть ссылки не только на on line расчеты, но и на так называемые «облачные» функции. Что это такое? Облачные информационные технологии позволяют хранить в «облаках» (на удаленных серверах) не только фотографии и тексты, доступные с любого компьютера (был бы выход в Интернет), что мы уже давно научились делать, но и программы для научно-технических расчетов, функции по свойствам рабочих тел, теплоносителей и материалов энергетики.

Существует аббревиатура MCS. Она означает Mathcad Calculation Server – инструмент публикации в Интернете расчетов, созданных в среде очень популярного инженерного офиса Mathcad [2]. А именно с помощью этого инструмента наполняется расчетный сервер МЭИ. Mathcad Calculation Server позволяет работать (считать) в среде Mathcad без установки на рабочей станции самого пакета Mathcad. Если же у пользователя установлен на компьютере этот пакет, то из его среды можно сделать ссылку («облачную» ссылку) на функцию, возвращающую ту же удельную энтальпию хладагента R410a в зависимости от давления и температуры.

На рис.1 показан пример использования «облачных» функций.

Особый интерес для холодильных машин и тепловых насосов представляет анализ величины теплоемкости рабочего вещества. Теплоемкость в однофазной области может быть графически определена в диаграмме состояний T-S как проекция длины подкасательной, проведенной к соответствующей изобаре или изохоре при заданной температуре. На рис.2 приведен пример графического определения изобарной теплоемкости  $C_p$ .

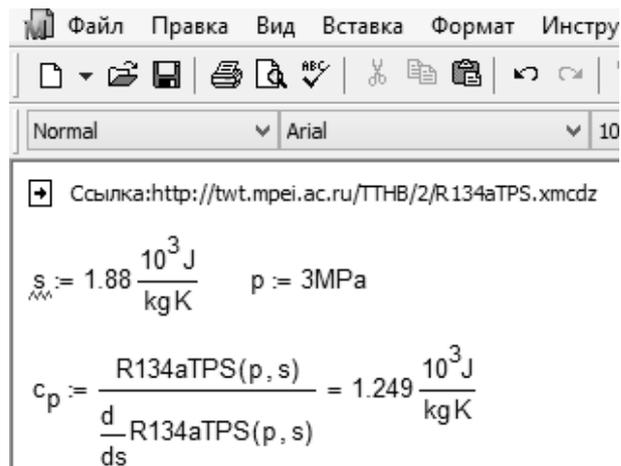


Рис.1. Использование «облачной» функции по расчету в пакете Mathcad изобарной теплоемкости  $C_p$  хладагента R134a в однофазной области.

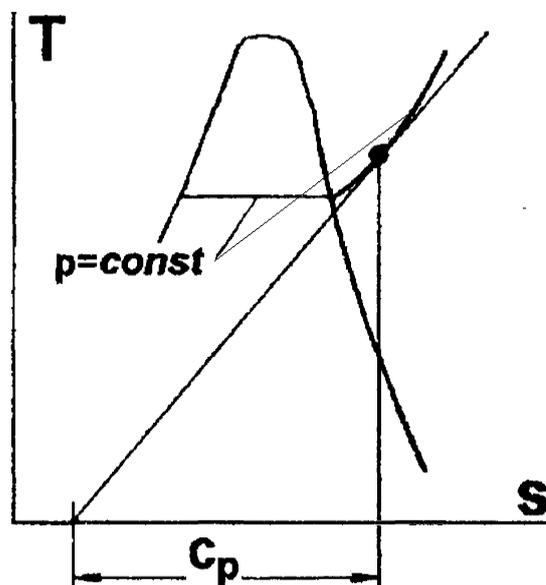


Рис.2. Графическое определение на TS-диаграмме изобарной теплоемкости  $C_p$  рабочего вещества в однофазной области.

Исходя из графической интерпретации изобарной теплоемкости  $C_p$ , на рис.1 показан пример аналитического определения в MathCad этой величины для рабочего тела R134a используя «облачную» функцию R134aTPS(p,s) – температура T в зависимости от давления p и удельной энтропии s. При этом определялась производная функции R134aTPS(p,s) по энтропии.

Для сравнения на рис.3 показан фрагмент из программы ReaPro, где определена изобарная теплоемкость R134a при тех же начальных условиях, что и на рис.1. Видим, что результаты полностью совпадают.

	Pressure (MPa)	Entropy (kJ/kg-K)	Cp (kJ/kg-K)
1	3,000	1,880	1,249

Рис.3. Расчет изобарной теплоемкости  $C_p$  хладагента в программе RefProp.

Если пользователю Mathcad при расчете холодильной машины или теплового насоса потребуется знание тех или иных свойств хладагентов, то ему стоит лишь сделать ссылки на соответствующие «облачные» функции.

Примечательно то, что в этих интерактивных расчетах, благодаря технологии Mathcad Calculation Server, можно изменять не только исходные данные и получать конечные результаты расчетов с графической интерпретацией, но и видеть саму последовательность (методику) расчета с выводом экран значения каждой рассчитанной промежуточной величины. Достаточно подвести курсор мыши на соответствующую ссылку (ссылка на Mathcad 15 файл R410aHPT(p,t)), нажать правую кнопку мыши, в появившемся списке отдать команду Свойства и прочесть (скопировать) адрес документа. Если в этом адресе букву H (энтальпия) заменить, например, на букву S, то в расчете станет видима (доступна) удельная энтропия. Замена букв R410a на R134a, например, также влечет за собой соответствующие изменения в расчете – будут выдаваться теплофизические свойства другого хладагента.

Термин хладагент несколько устарел. Эти рабочие тела стали активно использоваться не только для охлаждения и кондиционирования воздуха, но и для отопления. Электроэнергию можно напрямую пустить в электронагреватель, а можно запитывать ею тепловой насос, «качающий» тепло от холодного источника (уличный воздух, пласты земли под зданием и др.) к теплomu (помещение в здании). За счет этого снижается расход энергии на отопление. Мы часто используем эту энергосберегающую технологию, когда включаем кондиционер на отопление в холодную погоду, когда «батареи еще не включили».

Примечание в примечании. Если же жилой дом или промышленное здание отапливаются не электричеством, а газом, то энергоэффек-

тивность такого отопления можно существенно повысить за счет использования паротурбинных установок на этаноле или сверхкритическом  $CO_2$  (см. выше) или на других рабочих телах.

На рис.4 в качестве примера показан расчет парокomppressorного теплового насоса.

В случае необходимости повышения коэффициента трансформации (COP) можно использовать цикл трансформаторов тепла с многоступенчатым сжатием. Это особенно важно при общей степени сжатия хладагента в цикле свыше пяти. Основным преимуществом использования многоступенчатого цикла является уменьшение работы сжатия в сравнении с одноступенчатым сжатием в цикле. Как правило, изоэнтропический КПД компрессоров ощутимо снижается при степени повышения давления в нем более трех. Существует несколько видов циклов трансформаторов тепла с многоступенчатым сжатием. К одному из них относятся каскадные циклы. В таких схемах объединяется несколько простых циклов. При этом конденсатор цикла с нижней температурой конденсации рабочего тела является источником теплоты для испарителя цикла с высшей температурой кипения рабочего тела. Для каждой ступени каскада может быть использовано наиболее благоприятное для заданного уровня температур испарения и конденсации рабочее тело из условия обеспечения экономичной и надежной работы установки.

Рабочие тела в каскадном цикле можно подобрать таким образом, чтобы в испарителе каждой ступени каскада давление немного превышало атмосферное для исключения подсоса воздуха в систему, а критическая температура значительно превышала температуру конденсации, что позволит снизить необратимые потери при сжатии и дросселировании. Одной из оптимизационных задач при термодинамическом анализе двухкаскадного парокomppressorного цикла трансформатора тепла является задача определения такого давления в конденсаторе/испарителе, при котором эффективность будет максимальной. Для этого можно использовать интернет-страничку <http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/Vv-36.xmcd>. Путем изменения степени сжатия в компрессоре 1  $\pi_1$  можно рассчитать коэффициент трансформации COP теплового насоса и построить график зависимости  $COP=f(\pi_1)$ .

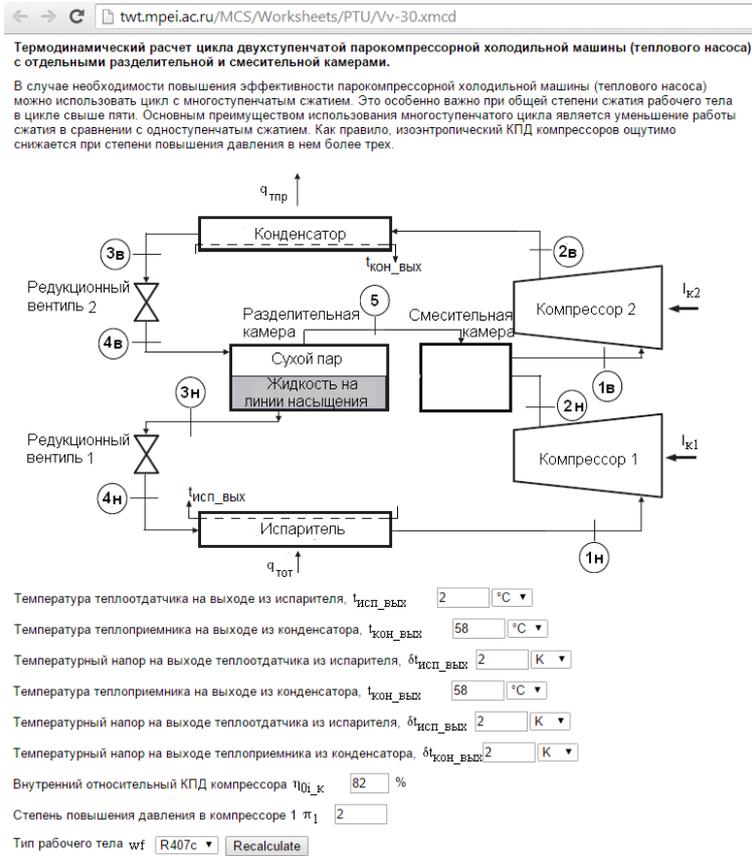


Рис.4. Блок исходных данных открытого сетевого интерактивного расчета парокомпрессорного теплового насоса.

Таблица 1

Результаты расчетов по подбору рабочих тел в нижнем и верхнем контурах двухкаскадного парокомпрессорного цикла теплового насоса

Показатель	Вариант											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Сочетание рабочих тел соответственно в нижнем и верхнем контурах											
	R22; R407c	R22; R134a	R22; R410a	R407c; R134a	R407c; R410a	R134a; R410a	R407c; R22	R134a; R22	R134a; R407c	R410a; R22	R410a; R407c	R410a; R134a
Значения показателя												
попт_н	2,927	2,848	3,534	2,486	3,063	3,868	2,342	2,785	3,162	2,226	2,467	2,35
p1н, МПа	0,498	0,498	0,498	0,544	0,537	0,293	0,546	0,293	0,293	0,8	0,8	0,8
p2н, МПа	1,458	1,418	1,76	1,352	1,646	1,133	1,278	0,815	0,926	1,781	1,974	1,88
p1в, МПа	1,383	0,883	2,646	0,724	2,156	2,543	1,067	1,192	1,333	1,068	1,17	0,725
p2в, МПа	2,65	1,763	4,006	1,763	4,006	4,006	2,534	2,534	2,65	2,534	2,65	1,763
СОРтн	3,702	3,782	3,553	3,724	3,447	3,527	3,726	3,767	3,689	3,701	3,611	3,7

Рассмотрим следующую задачу. Необходимо подобрать такие рабочие тела в нижнем и верхнем контурах двухкаскадного парокомпрессорного цикла теплового насоса, при которых можно было бы обеспечить экономичную и надежную работу установки. Критерием экономичности выбран коэффициент трансформации, а надежности – небольшое превышение давления выше атмосферного в испарителе каждой ступени каскада.

Для анализа будем использовать интернет-ресурс <http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/Vv-36.xmcd>.

Если учесть, что на расчетном сайте <http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/Vv-36.xmcd> в каждом контуре можно выбрать четыре вида хладагента, то, в общем случае, можно иметь двенадцать вариантов сочетания рабочих тел в нижнем и верхнем контурах.

В табл.1 приведены результаты такого анализа. Для каждого сочетания рабочих тел приведено оптимальное значение степени сжатия  $\pi_{1\text{ опт}}$ , при котором коэффициент трансформации максимален. Также в таблице приведены значения давления в характерных точках цикла.

Из табл.1 видно, что наибольшее значение коэффициента трансформации имеет место для вариантов 2 и 8, при сочетании рабочих тел соответственно в нижнем и верхнем контурах R22-R134a и R134a-R22. Но, как известно, фреон R22 запрещен в использовании. Немного меньшие значения COP<sub>тн</sub> имеют варианты циклов 4, 9 и 12 с комбинацией фреонов

R407c-R134a; R134a-R407c и R410a-R134a. Но, в сравнении с 4-м и 12-м вариантом, в 9-м варианте давление в промежуточном испарителе – наибольшее и составляет 1,333 МПа. Давления в промежуточном испарителе для 4-го и 12-го вариантов – практически одинаковые. Но в 12-м варианте давление в нижнем испарителе выше в сравнении 4-м. Поэтому, в данном случае, с учетом принятых критериев, лучше всего подходит вариант 4 с фреоном в нижнем контуре R407c и фреоном R134a в верхнем контуре.

#### Вывод.

Расчетный сайт МЭИ – это мощный инструмент инженерно-информационной поддержки энергетической отрасли, содержащий несколько тысяч расчетов, «облачных» функций и других полезных материалов для инженеров, научно-технических работников, студентов, аспирантов и преподавателей, занятых в том числе и в сфере энергосбережения и энергоэффективности.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Александров А.А., Орлов К.А., Очков В.Ф. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики: Интернет-справочник.- М.: Издательский дом МЭИ. 2009. 224 с. (<http://twf.mpei.ac.ru/rbtp/index.html>).

2. Теплотехнические этюды с Excel, Mathcad и Интернет / Под общ. ред. В.Ф.Очкова.- СПб.: Издательство БХВ-Петербург. 2014. 336 с. (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/TTMI>).

3. «Облачный» сервис по свойствам рабочих веществ холодильных установок /В.Ф.Орлов [и др.] // Вестник Международной академии холода. 2013. №2 (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/WSPHB/Web-Refr-Ochkov-R-407c.pdf>).

## INFORMATION AND ENGINEERING SUPPORT OF ENERGY SAVING AND ENERGY EFFICIENCY

V.F. OCHKOV<sup>1</sup>, D.Sc. (Tech.)

E.E. USTYUZHANIN<sup>1</sup>, Ph.D. (Tech.)

ChZhO KO KO<sup>1</sup>, аспирант

V.A. VOLOSHCHUK<sup>2</sup>, Ph.D. (Tech.)

<sup>1</sup>National Research University "Moscow Power Engineering Institute", 14, Krasnokazarmennaya Str., Moscow, 111250, Russia

<sup>2</sup>National University of Water Management and Nature Resources Use, 11, Sobornaya Str., Rovno, 33028, Ukraine

**Abstract.** This article describes a symbiosis of information technology and heating - using open network of interactive calculations, the "cloud" features and templates to solve a particular problem - the functional components via the Internet thermal calculations, in particular, the calculation of chillers and heat pumps. These calculations have become in demand in connection with the development of tri-generation and other energy-saving and energy-efficient technologies.

**Key words:** engineering calculations, Internet, refrigerants, chillers, heat pumps, thermal properties of materials, databases, Mathcad.

#### REFERENCES.

1. Aleksandrov A.A., Orlov K.A., Ochkov V.F. Teplofizicheskie svoystva rabochikh veshchestv teploenergetiki: Internet-spravochnik.- Moscow, Izdatel'skii dom MEI, 2009, 224 p. (<http://twf.mpei.ac.ru/rbtp/index.html>).

2. Teplotekhnicheskie etyudy s Excel, Mathcad i Internet / Pod obshch. red. V.F.Ochkova.- SPb., Izdatel'stvo BKhV-Peterburg, 2014, 336 p. (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/TTMI>).

3. «Oblachnyi» servis po svoystvam rabochikh veshchestv kholodil'nykh ustanovok /V.F.Orlov and others // Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda, 2013, No.2 (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/WSPHB/Web-Refr-Ochkov-R-407c.pdf>).

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

### ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ВОДОСНАБЖЕНИЯ КРЫМА

Л.В. МЕЛИНОВА<sup>1</sup>, к.т.н., начальник ПТО

В.Л. ПОДБЕРЕЗНЫЙ<sup>2</sup>, к.т.н., ведущий технолог

А.С. СЕДЛОВ<sup>3</sup>, д.т.н., профессор

А.А. КАВЕРИН<sup>3</sup>, аспирант

Ю.В. ШИПИЛОВ<sup>4</sup>, начальник энергомеханического отдела

<sup>1</sup>МКП «Тепловые сети», 404130, Волгоградская обл., г. Волжский, ул. Пушкина, 16

<sup>2</sup>ООО «Инжиниринговая компания «Химические системы», 620131, г. Екатеринбург, ул. Татищева, 100, оф. 8

<sup>3</sup>ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14

<sup>4</sup>АО «ВНИИПромтехнологии», 115409, г. Москва, Каширское шоссе, 33

**Аннотация.** В статье авторы описывают свое видение решения проблем, связанных с водоснабжением, энерго-снабжением и утилизации бытовых отходов в Республике Крым. Авторы считают, что необходимо найти такое решение всех трех обозначенных вопросов, которое обеспечит минимальное потребление первичных энергоресурсов, минимальное негативное воздействие на окружающую среду и максимальную экономическую эффективность проекта. Приведен обзор возможных вариантов решения проблемы водо-энергоснабжения и обеспечения энергетической и экологической безопасности Крыма. Учитывая сложившуюся политическую ситуацию и общую тенденцию зарубежных партнеров к реализации на территории России морально устаревших технологий, решения должны базироваться на отечественных проектных разработках и поставках оборудования. Предложено создавать энерготехнологические комплексы (ЭТК) для производства электроэнергии, пресной воды и утилизации мусора. Энерготехнологические комплексы жизнеобеспечения будут способствовать трансформации урбо-промышленных конгломератов Крыма в биосферосовместимые, что отвечает современным международным тенденциям и обеспечивает энергетическую и экологическую безопасность региона.

**Ключевые слова:** производство пресной воды, энергоснабжение, утилизация мусора, энерготехнологические комплексы, экологическая безопасность.

Главными стратегическими ориентирами в Энергетической стратегии России на период до 2035 года определены: энергетическая безопасность, энергетическая эффективность, бюджетная эффективность энергетики, экологическая безопасность энергетики [1]. В [2] приведены данные из Оценочного доклада управления директора Национальной разведки США (ДНР - Office of the Director of National Intelligence (DNI)) по глобальной водной безопасности, выполненного в 2011 году по просьбе госсекретаря США Хиллари Клинтон. В докладе делается вывод, о том вода может быть использована в качестве оружия и объекта террористических атак. Проблема нехватки, низкое качество воды и наводнения - увеличивает риск нестабильности в мире, усугубляет региональную и энергетическую напряженность. Так же ДНР отмечает, что с 2012 по 2040 гг. проблемы нехватки воды и загрязнения окружающей среды, вероятно, нанесут значительный ущерб экономической эффективности ключевых игроков мирового энергетического рынка. При этом экономиче-

ский ущерб будет расти, если страны не имеют достаточного снабжения чистой водой для получения электроэнергии, или для поддержания и расширения производства и добычи энергоресурсов.

Доля городского населения Крыма составляет 63% и поэтому оптимизация функционирования систем жизнеобеспечения урбанизированных территорий является не только актуальной технической, экологической, но и социально-политической задачей. Источниками собственного водоснабжения АР Крым являются водохранилища, подземные воды и каптажи. Основной проблемой водоснабжения является обеспечение водой питьевого качества. Подготовка воды до норм ГОСТа «Вода питьевая» осуществляется на 8 основных водоочистных станциях, суммарной установленной мощностью 781 тыс. м<sup>3</sup>/сутки. За 2003 год 4,72 млн. м<sup>3</sup> воды не отвечало требованиям стандарта в связи с устаревшим оборудованием и используемыми методами очистки. На крупных водоочистных станциях городов Ялта, Алушта, Симферополь, Феодосия, Керчь нет

системы оборотно-повторного использования воды после промывки фильтров. Около 9 млн. м<sup>3</sup>/год загрязненных возвратных вод попадает в реки Крыма. Жители многих населенных пунктов Крыма вынуждены использовать для питьевых потребностей воду повышенной минерализации (до 4 г/дм<sup>3</sup>) и жесткости. Привозной водой частично или полностью пользуются жители 161 населенных пунктов. Сложная ситуация с водоснабжением сложилась в ряде населенных пунктов Черноморского, Первомайского, Красноперекопского, Раздольненского районов, которое осуществляется за счет подземных вод [3].

Поставки Днепровской воды по Северо-Крымскому каналу могут удовлетворить нужды жителей полуострова примерно на 80%. Канал был построен в 1960-1970 годах, его износ достигает 80%. При этом изношенность системы водоснабжения на самом полуострове превышает 60%, в результате потери воды могут составлять почти 50%.

АРК импортирует более 80% потребляемой электроэнергии с материковой части Украины по сети линий электропередачи суммарной пропускной способностью около 1 250 МВт напряжением 220/330 кВ через Перекопский перешеек и полуостров Чонгар. Максимальное энергопотребление Крыма превышает 1,4 ГВт. Для энергообеспечения полуострова с учетом резервов необходимо не менее 1,5 ГВт.

Установленная мощность Симферопольской ТЭЦ - 68 МВт, тепловая мощность - 364 Гкал/ч. В 1984 и 1986 году на станции были введены в эксплуатацию две газовые турбины ГТУ-100-750-3М электрической мощностью по 100 МВт каждая. Установленная электрическая мощность Камыш-Бурунской ТЭЦ (г.Керчь) ТЭЦ — 30 МВт, тепловая - 103 Гкал/ч. Фактически отпускается только тепловая энергия, так как для работы турбин отсутствует внешний промышленный потребитель пара.

Установленная электрическая мощность Севастопольской ТЭЦ - 33 МВт, тепловая - 153,3 Гкал/ч. Износ оборудования составляет 95%.

Оборудование всех ТЭЦ характеризуется значительным моральным и физическим износом (часть оборудования выведена из экс-

плуатации, часть отработала установленный ресурс) и нуждается в реконструкции и модернизации. Общая установленная тепловая мощность ТЭЦ - 730,5 Гкал/ч. Тепловой энергией г.Симферополь обеспечивается на 30%, г.Керчь на 40% и г.Севастополь на 30% [7].

Сакские тепловые сети. Установленная электрическая мощность - 20 МВт, тепловая мощность - 88,1 Гкал/ч, присоединенная тепловая мощность по договорам - 57,6 Гкал/ч. Протяженность теплосетей - 42,99 км. Покрывается 100% потребности г.Саки и пгт.Николаевка, из них 51% - населения, 14% - промышленности. В структуру Сакских тепловых сетей входят также 6 городских котельных, суммарной установленной тепловой мощностью - 14,5 Гкал/ч.

По состоянию на 2006 г. на балансе АО «Крымтеплокоммунэнерго», как одного из основных поставщиков тепловой энергии на территории АРК, находятся 209 котельных (8 шт. - на консервации) общей установленной мощностью 2292,3 Гкал/ч, из них 44 котельные мощностью 195,275 Гкал/ч работают на жидком топливе. Суммарная подключенная тепловая нагрузка к котельным объединения составляет 1082,574 Гкал/ч. Срок эксплуатации 32% энергоустановок превышает 20 лет. В усадебной застройке используются автономные источники тепла.

Постоянная комиссия Совета министров Крыма по техногенно-экологической безопасности и чрезвычайным ситуациям признала ситуацию, сложившуюся в автономии с теплоснабжением чрезвычайной.

По различным данным, со ссылкой на Министерство ЖКХ Автономной Республики Крым, ситуация по загрязнению твердыми бытовыми отходами (ТБО) является критичной, на территории автономии накоплено 53 млн. т отходов или более 72 млн. кубометров, при том, что ежегодно количество отходов увеличивается на 2 млн. тонн.

На основании вышеприведенных данных, очевидно, что необходимо найти такое решение всех трех обозначенных вопросов, которое обеспечит минимальное потребление первичных энергоресурсов, минимальное негативное воздействие на окружающую среду и максимальную экономическую эффективность про-

екта. Учитывая сложившуюся политическую ситуацию и общую тенденцию зарубежных партнеров к реализации на территории России морально устаревших технологий, решения должны базироваться на отечественных проектных разработках и поставках оборудования. Метод термического обессоливания воды (термодистилляция, дистилляция) уже около 150 лет успешно применяется для опреснения солоноватых, морских и высокоминерализованных, в том числе в последние годы и сточных вод. В прошедшие четыре-пять десятилетий мировым сообществом достигнуты серьёзные успехи в области разработки техники и технологии этого метода опреснения с целью производства дешёвой пресной воды для самого широкого круга потребителей. В бывшем СССР промышленное становление опреснения морской воды было вызвано необходимостью обеспечения пресной водой перспективного богатого полезными ископаемыми Мангышлакского территориально промышленного комплекса, запланированного к строительству на полуострове Мангышлак (Каспийское море), с центром в г.Актау (бывшем г.Шевченко), Казахстан. В этом городе, на площадке Мангышлакского атомного энергетического комбината (МАЭК) был построен завод приготовления дистиллята (ЗПД) установленной мощностью более 7000 м<sup>3</sup>/ч дистиллята. Производительность ЗПД составляла не менее 5000 м<sup>3</sup>/ч и распределение дистиллята ориентировочно осуществлялось следующим образом: 900 м<sup>3</sup>/ч - на нужды горячего водоснабжения (ГВС), 900 м<sup>3</sup>/ч - на производственные цели и 3200 м<sup>3</sup>/ч на цели холодного водоснабжения (в том числе на полив городских зеленых насаждений и орошение дачных участков) г.Шевченко и прилегающих городских поселений с транспортировкой воды по трубопроводам на расстояние до 80-90 км. Основным энергетическим источником для данной площадки являлась атомная электростанция с ядерным реактором на быстрых нейтронах БН-350.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, выполненные с несколькими поколениями многоступенчатых выпарных установок в бывшем СССР и за рубежом, показали, что установки с горизон-

тально-трубными испарителями с наружным плёночным орошением труб имеют существенные преимущества перед другими типами испарителей: они обладают хорошими экономическими показателями, просты в работе и обслуживании. По удельным затратам, тепловой и электрической энергии, по металлоёмкости и по площади застройки дистилляционные опреснительные установки (ДОУ) с горизонтально-трубными плёночными испарителями (ГТПИ) имеют 1,3-1,9 - кратное преимущество перед дистилляционными установками других типов. Дальнейшее улучшение показателей ДОУ и, особенно, с горизонтально-трубными плёночными испарителями связывают с применением для этих установок термической (пароструйной) или механической компрессии пара и в создании гибридных схем (установок объединяющих несколько процессов опреснения). ДОУ предназначены для работы на сырой воде и на низкопотенциальном греющем паре - при давлениях несколько выше атмосферного и, главным образом, под вакуумом. Энергетические многоступенчатые испарительные установки (МИУ) на базе испарителей типа «И», наоборот, созданы для работы в области повышенных давлений пара - 1,6...0,2 МПа и на подготовленной воде. Поэтому, при потребности в переработке больших объёмов сточных вод с целью получения подпиточной воды для котлоагрегатов и резкого сокращения сбросов на природу в ситуации, когда отсутствует низкопотенциальный пар, целесообразным является вариант гибридной (комбинированной) установки, состоящей из МИУ на паре высоких параметров и ДОУ на вторичном паре (низкопотенциальном) последней ступени МИУ.

На постсоветском пространстве в различных регионах (Казахстан, Туркменистан, Узбекистан, Украина, Белоруссия, Россия) применение получили ДОУ с ГТПИ производительностью 10,0 м<sup>3</sup>/ч, всего 19 установок. В г.Актау, на МАЭК с 1985 года успешно эксплуатировался двухступенчатый модуль шестнадцатиступенчатой опреснительной установки производительностью 700,0 м<sup>3</sup>/ч, а в 2007 г. там построены израильской фирмой «IDE technologiesLtd» две опреснительные установки проектной производительностью по 250,0

м<sup>3</sup>/ч дистиллята. На Ново-Ростовской АЭС сооружены четыре опреснительные установки с горизонтально-трубными испарителями проектной производительностью по 60,0 м<sup>3</sup>/ч дистиллята каждая, предназначенные для приготовления добавочной воды парогенераторов ядерных реакторов. В России были разработаны проекты утилизации сточных вод и получения дистиллята для подпитки котлов для Волжской ТЭЦ (комбинированная схема МИУ+ГТПИ) и Волжской ТЭЦ-2 (ГТПИ), Сыр-Дарьинской, Талимарджанской ГРЭС, Зеравшанской котельной и других станций. В теплоэнергетике реализация данных предложений позволяет сократить потребление сырой воды, реагентов и энергоносителей, утилизировать у стороннего потребителя разделенные соли в удобном для транспортировки сухом виде, увеличить выработку электроэнергии на тепловом потреблении и утилизировать теплоту, затраченную на термодистилляцию в технологическом цикле станции. ФГУП «ВНИПИпромтехнологии» разработан проект «Энергоопреснительный комплекс - автономная газотурбинная термодистилляционная опреснительная установка парогазового цикла», установленной мощностью 8 МВт электроэнергии, производством 20 т/ч пара давлением 0,4 МПа, используемого для получения до 200 м<sup>3</sup>/ч дистиллята и/или питьевой воды, и/или горячей воды для технологических целей или целей отопления и ГВС. Учитывая, что климатическая зона Крыма позволяет использовать открытую компоновку всего технологического оборудования комплекса, капитальные затраты на строительство сокращаются не менее, чем на 30% [7].

На полуострове функционирует 28 полигонов ТБО, из которых эксплуатация 10 приостановлена по причине многочисленных нарушений. И только 9 имеют запас проектной мощности (впрочем, 3 из них заполнены более, чем на 90%). ТБО в местах наибольшего скопления мусора, а, именно: в Белоглинке Симферопольского района (мощностью 200 тыс. т в год), в Феодосии, на территории полигона ТБО (на 120 тыс. т в год), на полигоне в Керчи (120 тыс. т в год), в Сакском районе, на границе с Евпаторией (150 тыс. т в год), в Джанкое, на полигоне ТБО (мощностью 150 тыс. т в год).

Севастопольский полигон ТБО в зимний период ежемесячно принимает около 45 тысяч кубометров мусорных отходов. Летом эта цифра возрастает до 60 тысяч кубометров. Этот полигон является одним из лучших в Крыму, так как на мусоросортировочном узле перерабатывается 15% всех поступающих отходов.

Термическая утилизация позволяет освободить значительные площади земли, занятые полигонами ТБО, решить экологические проблемы и получить полезный продукт в виде тепловой и электрической энергии, вторичного сырья. Сжигание ТБО (неорганизованное, слоевое, камерное, в кипящем слое) широко известно и распространено, гораздо менее известен пиролиз и газификация. Теплота сгорания пиролизного газа выше, чем у исходного сырья - ТБО (10÷20 МДж/кг), газ легко воспламеняется, обладает высокими экологическими показателями. В [4] выполнено сравнение технико-экономических и экологических показателей технологий утилизации ТБО. Сжигание оценивалось для топок с колосниковыми решетками, а пиролиз для реакторов со средней температурой процесса 850 °С. Определено, что технико-экономические показатели являются сопоставимыми, однако экологическая чистота пиролиза выгодно отличает ее от сжигания.

В России пиролиз ТБО остается новинкой, несмотря на мощные теоретические наработки, выполненные в СССР. В этой связи интересен зарубежный опыт [5].

Япония, которая испытывает острую нехватку земли для размещения отходов, является лидером в переработке ТБО пиролизом. Компания The Nippon Steel совместила технологию пиролиза с газификацией и плавлением шлака. Получаемый газ сжигается в традиционных паровых котлах для выработки тепловой и электроэнергии. Выходными продуктами реакции являются: гранулированный шлак (90 кг на тонну ТБО), железо (на повторное использование - 10 кг/т) и летучая зола (30 кг/т). В Японии в эксплуатации находится несколько десятков таких установок с диапазоном мощностей в пределах 100-400 т/день.

В Германии, г.Бургау, с 1987 работает пиролизная установка на смеси ТБО, промышленных и крупногабаритных отходов и осадка

сточных вод, обновленная в 2001 году. Сортировка исходного сырья на данной установке отсутствует. Суммарная производительность установки (WasteGen, Великобритания) до 36000 тонн отходов в год. Получаемый пиролизный газ сжигается в паровом котле, пар подается на турбину и генерирует 2,2 МВт электроэнергии. Металлы собираются после процесса пиролиза, твердые продукты не используются, а подвергаются захоронению. Установка отличается высокой надежностью, неприхотливостью и приемлемым энерговыделением.

Французская кампания Thide Environmental выпускает пиролизеры с вращающимися барабанами (сходные с WasteGen). Отходы сортируются, сушатся и направляются в пиролизный барабан, где перерабатываются в течение примерно 30 минут. Пиролизный газ сжигается для получения пара и поддержания теплоты в барабане. Также Thide Environmental пытается продавать образующийся кокс на рынке в качестве энергетического топлива.

Thermoselect (Швейцария) поставила 1 установку медленного пиролиза в Германию (г.Карлсруе) и 2 в Японию. За процессом пиролиза следует газификация в кипящем слое (имеет место также плавление золы). Известно также, что в газификатор подается природный газ в соотношении 23 кг газа на 1 тонну ТБО для поддержания достаточной температуры газификации. Отходы не сортируются, гидравлическим прессом проталкиваются в цилиндрическую горизонтальную камеру пиролиза, где сушатся и пиролизуются. В конце этой трубы твердое вещество падает в высокотемпературный газификатор кипящего слоя (продуваемый кислородом). Подготовка топлива в этом технологическом процессе отсутствует.

Можно сделать вывод о том, что технические предпосылки создания энерготехнологических комплексов (ЭТК) по утилизации ТБО и когенерационной выработке тепловой и электрической энергии в АРК сформированы.

Обзор возможных вариантов решения проблемы водо-энергоснабжения и обеспечения энергетической и экологической безопасности Крыма.

Строительство водопровода с территории Кубани («Кубанская вода») обеспечит частич-

ное решение многоплановой задачи, сложившейся на полуострове, но не решит вопросов утилизации мусора, переработки сточных вод и энергообеспечения, нарушит сложившиеся биотопы и гидрогеологическое равновесие.

Строительство опреснительных комплексов на базе обратноосмотических установок приведет к существенному дополнительному потреблению электрической энергии и дополнительной весьма значительной нагрузке на биосферу. Обратный осмос уже не новинка для российских специалистов. Зарубежная технология в красивой упаковке и с активной рекламой, подкупающая малым потреблением химических реагентов по сравнению с ионообменным и кажущейся дешевизной. Первое - не оспоримо. Второе - является заблуждением. В связи с тем, что через каждые 3-6 лет в обратноосмотических установках требуется заменять обратноосмотические модули (основные дорогостоящие и при том импортные их элементы), практические инвестиционные затраты для них при 15-летнем сроке службы как минимум на 40% выше общепринятой величины в 600-800 US\$/м<sup>3</sup>/сутки. Стоимость обратноосмотических модулей высока; так как на долю мембран приходится до 21% капиталовложений и от 10 до 20% эксплуатационных издержек. Учитывая это обстоятельство, некоторые разработчики с целью продления срока службы мембран применяют дорогостоящую предварительную подготовку обессоливаемой воды, порой включающую Na-катионирование, неприемлемое при опреснении морских вод. Объем сточных вод с установок обратного осмоса, по информации [8], подтвержденной на Международной научно-технической конференции «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС. Цели и задачи» 21-23 мая 2013 г. заведующим кафедрой МЭИ Пантелеевым А.А., составляет от 20% до 40% забираемой на обессоливание исходной воды. Поскольку стоки имеют низкое значение pH, то в местах размещения крупных опреснительных обратноосмотических комплексов, например, на берегах Красного моря и Персидского залива возникают серьезные экологические проблемы - наблюдается исчезновение различных видов морских организмов и значительное разрушение кораллов. К серьезным недостат-

кам обратного осмоса относится и то, что для осуществления этого метода потребляется в значительных количествах электрическая энергия (готовый продукт ТЭС) дефицитная на полуострове. Особо необходимо обратить внимание на отсутствие отечественных фирм-производителей обратноосмотических модулей. Реанимируемый ОАО «РосНАНО» во Владимире завод по производству мембран и рулонных элементов на их основе, в случае эмбарго, не сможет обеспечить комплектующими уже функционирующие на территории России установки. Открытая компоновка оборудования в мировой практике эксплуатации обратноосмотических модулей отсутствует, что формирует дополнительные капитальные затраты на строительство зданий и сооружений ЗПД.

Строительство энерготехнологических комплексов жизнеобеспечения, включающих в себя:

- завод по переработке мусора и получению пиролизного газа, сжигаемого в последствии в котлах-утилизаторах ТЭЦ;

- ТЭЦ на базе ПГУ, единичный блок которой состоит из газовой турбины, котла-утилизатора выхлопа газовой турбины, с дополнительным сжиганием пиролизного газа, и паровой турбины, отборный пар которой, является греющим паром для ДОУ ГТПИ;

- ЗПД на базе ДОУ ГТПИ, предназначенный для выработки воды питьевого качества из Азовской и Черноморской воды для хозяйственно-бытовых нужд, утилизации промыш-

ленных и городских сточных вод, водоподготовки ТЭЦ.

Отметим, что заместитель председателя совета НП «Союз водников и мелиораторов», экс-министр водного хозяйства СССР Полад Полад-Заде предполагает решить проблемы водоснабжения Крыма путем опреснения морской воды, а также увеличения отбора подземных пресных вод. Эксперт уверен, что с решением этой проблемы не нужно затягивать, а исходить придется из того, что Северо-Крымский канал, обеспечивающий до этого 80% потребляемой Крымом воды, еще долго не будет удовлетворять существующие потребности. Небольшая часть воды из Краснодарского края, по его словам, сможет обеспечить только нужды Керчи.

Принципиальная схема энерготехнологического комплекса, представлена на рис.1.

Размещение энерготехнологического комплекса (ЭТК) жизнеобеспечения рационально осуществить в непосредственной близости от потребителей пресной (питьевой воды) и сырьевой базы (полигонов ТБО), т.е. около городов Севастополя, Керчи, Феодосии, Саки, Ялты на базе существующих котельных и/или ТЭЦ. Производительность ЗПД определяется потребностями населения и инфраструктуры городов и может варьироваться на базе опреснительных установок единичной мощностью от 2 до 17000 м<sup>3</sup> дистиллята в сутки.

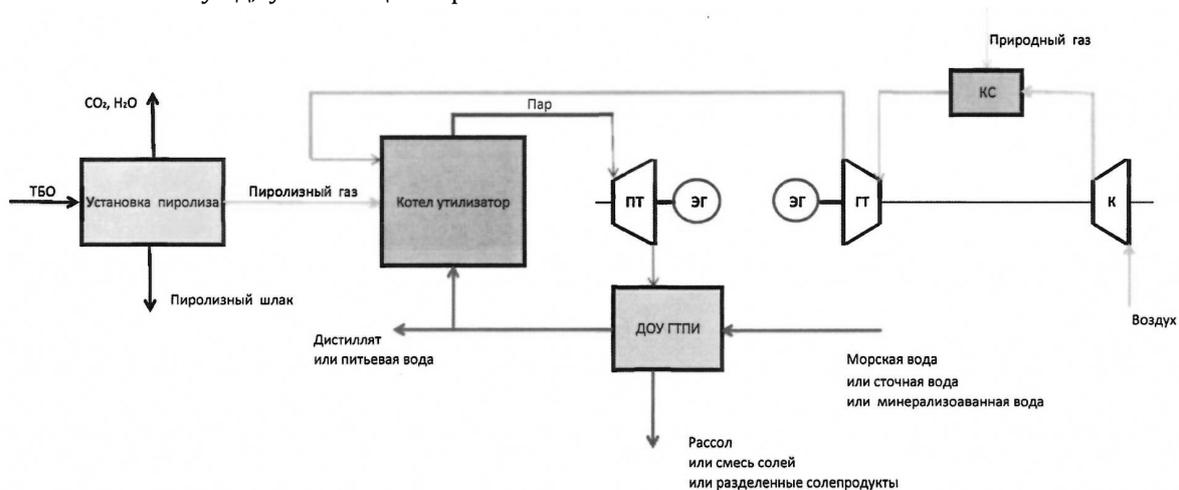


Рис.1. Принципиальная структурная схема энерготехнологического комплекса.

ТБО - твердые бытовые отходы; ПТ - паровая турбина, ЭГ - электрогенератор; ГТ - газовая турбина; К - компрессор; ДОУ ГТПИ - дистилляционная опреснительная установка с горизонтальнотрубными пленочными испарителями.

Реализация предложения по созданию ЭТК жизнеобеспечения Севастополя, Керчи, Феодосии, Саки, Ялты на базе существующих котельных и ТЭЦ позволит:

- обеспечить население и инфраструктуру полуострова качественной пресной водой, вырабатываемой из Азовской и Черноморской воды наиболее дешевым и энергоэффективным методом термической дистилляции на базе горизонтально-трубных пленочных испарителей;

- утилизировать сточные воды городов и промышленных объектов в технологическом цикле водоподготовки ТЭЦ, тем самым, исключая вредное воздействие сточных вод на окружающую среду;

- получать дополнительный товарных продукт от ДОУ ГТПИ – сухую смесь солей или разделенные соли;

- утилизировать ТБО городов по наиболее экологичной пиролизной технологии, позволяющей в отличие от прочих технологий не производить захоронение отходов, а использовать инертный пиролизный шлак, например, в дорожном строительстве;

- вырабатывать тепловую и электрическую энергию на базе когенерационных установок, используя в качестве топлива продукт переработки ТБО – пиролизный газ;

- модернизировать энергообъекты, имеющие значительный износ технологического оборудования;

- увеличить объем собственной генерации электрической энергии и снизить зависимость в поставке электроэнергии от Укрэнерго;

- минимизировать транспортные расходы на доставку мусора к месту его переработки;

- минимизировать на 30% капитальные затраты на строительство ЭТК за счет применения открытой компоновки оборудования;

- минимизировать накладные, административные и прочие расходы, за счет объединения индивидуальных целевых проектов в единый ансамбль.

Преимущества реализации предложения по созданию ЭТК жизнеобеспечения Севастополя, Керчи, Феодосии, Саки, Ялты на базе существующих котельных и ТЭЦ по сравнению с прочими вариантами систем жизнеобеспечения состоят в следующем:

- устойчивое, не зависящее от зарубежных стран, обеспечение Республики Крым и города

Севастополя электроэнергией и пресной водой;

- модернизация объектов топливно-энергетического комплекса, обеспечивающая экологическую безопасность с переходом на инновационную модель развития;

- снижение общих затрат энергетического производства и повышение рентабельности ЭТК жизнеобеспечения;

- использование результатов реализации бессточной схемы применительно к новым оптимальным проектам для предприятий теплоэнергетики и других отраслей промышленности с получением экономического эффекта;

- получение государственных преференций предприятию при доле использования более 90 процентов российских технологий и оборудования;

- независимость от зарубежных поставок оборудования, комплектующих и реагентов.

Вопросы биосферной совместимости энергетики, систем жизнеобеспечения городов являются в настоящее время приоритетными в энергетических стратегиях мирового сообщества. Стратегическая энергетическая инициатива США предполагает, что к 2030 году США будут иметь биосферосовместимую энергетику. В энергетической стратегии Европейского Союза (ЕС) «Energy 2020», принятой 17 июня 2010 г., среди приоритетов на первом месте находится энергоэффективность, которая должна стать основой во всех, имеющих к ней отношение областях политики, включая образование и воспитание, для изменения у субъектов общения, существующих линий поведения.

#### Выводы.

Очевидно, что реализация предложения по созданию ЭТК жизнеобеспечения Симферополя, Севастополя, Керчи, Феодосии, Саки, Ялты является наиболее энергоэффективным решением проблемы обеспечения городов пресной водой, тепловой, электрической энергией и утилизации ТБО. Строительство ЭТК Крыма создаст условия для развития экономики полуострова, включая ее диверсификацию, обеспечит рост технологического уровня и минимизацию инфраструктурных ограничений. Таким образом, энерготехнологические комплексы жизнеобеспечения будут способствовать трансформации урбо-промышленных конгломератов Крыма в биосферосовместимые, что отвечает современным международ-

ным тенденциям и обеспечивает энергетическую и экологическую безопасность региона.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года.
2. <http://www.energystrategy.ru/press-c/source/10.07.12-Solovyov> (Дата обращения 09.01.2015).
3. <http://www.segodnya.ua/ukraine/cituatsiju-c-teplochnabzheniem-v-krymu-priznali-chrezvychnoj.html> (Дата обращения 09.01.2015).
4. Мелинова Л.В., Мелинова Н.А., Каверин А.А. О биосферной совместимости систем энергоснабжения урбани-зированных территорий и утилизации твердых бытовых отходов // Новое в Российской электро-энергетике. 2014. №6. С.18-27.
5. Малышевский А.Ф. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов жилого фонда в городах России // Доклад, Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2012.

6. Williams R.B., Jenkins B.M., Nguyen D. Solid Waste Conversion: A review and database of current and emerging technologies. - Final report, University of California Davis, Department of Biological and Agricultural Engineering, 2003.

7. Термодистилляционные опреснительные установки для энерготехнологических комплексов. Водное хозяйство промышленных предприятий / В.И.Аксенов [и др.]: Справочное издание: Книга 4.- М.: Теплотехник, 2007. 240 с.

8. Сокращение объема и утилизация сточных вод обратноосмотических обессоливающих установок// Юрчевский Е.Б., Первов А.Г., Андрианов А.П., Пичугина М.А. // Энергосбережение и водоподготовка. 2013. №4(84). С.3-7.

9. Распоряжение Правительства РФ от 29.08.2013 №1535-р «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» (в новой редакции)».

## ENERGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY SUPPLY OF CRIMEA

L.V. MELINOVA<sup>1</sup>, Ph.D. (Tech.)

V.L. PODBEREZNYI<sup>2</sup>, Ph.D. (Tech.)

A.S. SEDLOV<sup>3</sup>, D.Sc. (Tech.)

A.A. KAVERIN<sup>3</sup>, Eng.

Yu.V. SHIPILOV<sup>4</sup>, Eng.

<sup>1</sup>INC "Heating networks", 16, Pushkina Str., Volzhskiy, Volgograd Region, 404130, Russia

<sup>2</sup>LLC "IC "Chemical Systems", 100, office 8, Tatishcheva Str., Ekaterinburg, 620131, Russia

<sup>3</sup>National Research University "Moscow Power Engineering Institute", 14, Krasnokazarmennaya Str., Moscow, 111250, Russia

<sup>4</sup>JSC «VNIPIPROMTEKNOLOGII", 33, Kashirskoe Road, Moscow, 115409, Russia

**Abstract.** In the article, the authors describe their vision of solving problems related to water, energy and waste disposal in the Republic of Crimea. The authors believe that it is necessary to find a solution to all three issues identified, which will provide a minimum primary energy consumption, minimal impact on the environment and maximize cost-effectiveness of the project. An overview of the possible solutions to the problem of water supply and ensure energy and environmental security of the Crimea. Given the current political situation and the general trend of foreign partners for implementation in Russia obsolete technologies, solutions should be based on domestic project development and delivery of equipment. Proposed to create energy technological complexes (ETC) for the production of electricity, fresh water and waste disposal. Power technological life support systems to help transform URBO-industrial conglomerates in Crimea in "biosferosovmestimye" that meets the latest international trends and provides energy and environmental security in the region.

**Key words:** production of fresh water; energy supply; recycling; energy technological systems, environmental safety.

#### REFERENCES.

1. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2035 goda.
2. <http://www.energystrategy.ru/press-c/source/10.07.12-Solovyov> (Data obrashcheniya 09.01.2015).
3. <http://www.segodnya.ua/ukraine/cituatsiju-c-teplochnabzheniem-v-krymu-priznali-chrezvychnoj.html> (Data obrashche-niya 09.01.2015).
4. Melinova L.V., Melinova N.A., Kaverin A.A. O biosfernoi sovместimosti sistem energosnabzheniya urbanizirovannykh territorii i utilizatsii tverdykh bytovykh otkhodov // Novoe v Rossiiskoi elektroenergetike, 2014, No.6, p.18-27.
5. Malyshevskii A.F. Obosnovanie vybora optimal'nogo sposoba obezvrezhivaniya tverdykh bytovykh otkhodov zhilogo fonda v gorodakh Rossii // Doklad, Ministerstvo prirodnykh resursov i ekologii RF, 2012.
6. Williams R.B., Jenkins B.M., Nguyen D. Solid Waste Conversion: A review and database of current and emerging technologies. - Final report, University of California Davis, Department of Biological and Agricultural Engineering, 2003.
7. Термодистилляционные опреснительные установки для энерготехнологических комплексов. Водное хозяйство промышленных предприятий / В.И.Аксенов [и др.]: Справочное издание: Книга 4.- Moscow, Теплотехник, 2007, 240 p.
8. Sokrashchenie ob"ema i utilizatsiya stochnykh vod obratnoosmoticheskikh obessolivayushchikh ustanovok// Yurchevskii E.B., Pervov A.G., Andrianov A.P., Pichugina M.A. // Energoberezhenie i vodopodgotovka, 2013, No.4(84), p.3-7.
9. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 29.08.2013 No.1535-r «Ob utverzhdenii gosudarstvennoi programmy Rossiiskoi Federatsii «Razvitie promyshlennosti i povyshenie ee konkurentosposobnosti» (v novoi redaktsii)».

## ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НАРОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ

### ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРИГОДНОСТИ ОПЕРАТОРОВ

З.И. ГУБЕНИНА, д.т.н., профессор

А.С. ЦВЕТКОВА, аспирант

М.Л. БАРЕЛКО, аспирант

ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», 107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38

**Аннотация.** В статье рассмотрены методы оценки профессиональной пригодности операторов. Результаты исследования показали, что оценка профессиональной успешности операторов (диспетчеров) может производиться по такому показателю функционального состояния и силы нервной системы, как число выбросов, превышающих пороговое значение времени реакции на световой или звуковой раздражитель и показатель внимания.

**Ключевые слова:** оператор, диспетчер, оценка способностей, профессиональная пригодность.

К психофизиологическим качествам диспетчеров (операторов) предъявляются высокие требования, особенно по таким показателям, как: сенсомоторная реакция, внимание, оперативная память, уровень функционирования слуховых и зрительных анализаторов [1-3]. Работа операторов характеризуется высокой концентрацией внимания и требует большой скорости и точности ответа на звуковой или световой сигнал. Оператор может фиксировать до двух тысяч показаний индикатора в минуту в зависимости от способа тренировок и расположения табло. Интересны выводы, сделанные в работе [4], в которой отмечается, что 78% отказов корабельных котлов вызывались неправильными действиями личного состава. Исследования, проведенные в работе [5], свидетельствуют о значительном снижении готовности к труду в условиях монотонной работы. При этом увеличивается количество ошибок, рассеивается внимание, наступает сонливость, теряется готовность к активным действиям; в таких условиях нужна высокая выносливость и эмоционально-волевая устойчивость.

Специфика труда оператора (диспетчера) заключается в том, что с поступлением аварийного сигнала он попадает в экстремальные условия, т.е. он должен быстро перейти от состояния относительного «оперативного покоя» к активным действиям, обязательно возникают варианты ситуаций, требующие анализа, усилия мысли, принятия тех или иных решений.

По данным работы [6] готовность оператора к деятельности в сложной ситуации может быть представлена следующим алгоритмом:

$\downarrow Q_g \uparrow \downarrow PST_r \uparrow w$ .

Состав алгоритма:  $O_g$  - ожидание, контроль, информационный поиск;  $P$  - поиск причин, вы-

зывающих рассогласование в системе;  $S$  - управляющее воздействие;  $T$  - проверка результатов управляющих действий.

Логические условия:  $O_g=0$  - в системе нет отклонений от технологического режима;  $O_g=1$  - в системе появляется отклонение, требующее вмешательства оператора;  $r=0$  - система не пришла в норму;  $w=0$  - всегда ложное логическое условие.

Живые системы вынуждены удовлетворить свои потребности в условиях хронического дефицита информации. Эмоции всегда возникают при недостатке сведений, необходимых для достижения цели. Замечая, компенсируя этот дефицит, эмоции обеспечивают продолжение действий, способствуют поиску новой информации и тем самым повышают надежность живой системы [7].

В связи со сказанным, к операторам должны быть предъявлены высокие требования по психофизиологическим показателям: сенсомоторной реакции, различным параметрам внимания, оперативной памяти, функциям зрительного и слухового анализаторов, уровню тревожности, эмоциональной устойчивости и типу поведения; при этом должны учитываться особенности центральной нервной системы: сила и подвижность нервных процессов.

Для оценки информативности психофизиологических показателей использовались следующие исходные данные: возраст, стаж работы по специальности, пульс до работы и после завершения смены, артериальное давление, тест на внимание (число просмотренных знаков до и после смены), простая реакция на свет до и после смены ( $t_1$  и  $t_2$ ), сложная реакция на свет до и после завершения смены ( $t_{\text{бел.ср.}}$  и  $t_{\text{кр.ср.}}$ ); тест Шульце (до и после смены), уровень тревожности, эмоциональная устойчивость,

особенности поведения в психологически напряженной ситуации. Опорной сравнительной информацией послужили экспертные оценки успешности профессиональной деятельности обследуемых специалистов.

Несмотря на достаточное число исследований, до сих пор отсутствуют единые теоретические и методологические принципы профессионального отбора, что затрудняет установление общего подхода к профессиональному психофизиологическому отбору специалистов операторского профиля деятельности, установление критериев безопасности. Для решения этой задачи представляет интерес классификация, объединяющей три группы факторов, влияющих на надежность и безопасность операторской деятельности человека.

В первой группе рассматриваются факторы повышения надежности (безопасности) работы персонала за счет инженерно-психологического совершенствования оборудования. Однако эти факторы лишь в незначительной степени определяют индивидуальные различия по надежности.

Вторая группа объединяет факторы обученности операторов. Однако, исследования последних лет показали, что сама способность к обучению в значительной степени зависит от индивидуальных психофизиологических характеристик, т.е. от факторов 3-ей группы.

Факторы третьей группы имеют собственно личностный характер и определение функционального состояния нервной системы:

а) по показателям времени простой зрительно-моторной реакции до и после работы (на 30 предъявлений раздражителя);

б) по показателям внимания до и после рабочей смены;

в) определение функционального состояния сердечно-сосудистой системы по показателям частоты пульса до и после работы;

г) определение функционального состояния нервно-мышечной системы (координация движений).

Для вычисления показателя координации (для обработки и сравнения полученных результатов на АСК-3) была предложена следующая формула для оценки показателя «внимание» - специальная формула. Была принята следующая шкала для оценки показателя внимания А:

$A < 40\%$  - неудовлетворительно;

$40\% < A \leq 60\%$  - удовлетворительно;

$60\% < A \leq 80\%$  - хорошо;

$80\% < A \leq 100\%$  - отлично.

Для операторов (диспетчеров) коэффициент ошибок принят - 0,1; предельно допустимое количество ошибок  $n_{\text{доп}} - 10$ .

Первая задача при разработке критериев безопасности профессиональной деятельности заключается в определении так называемого «внешнего критерия», т.е. единичного или комплексного показателя профессиональной успешности (безопасности) обследованных с тем, чтобы путем его сравнения с индивидуальными психофизиологическими характеристиками выявить наиболее прогностические из них.

Вторая задача состоит в нахождении математического алгоритма разработки критерия профессионального отбора: критерия безопасности.

Была применена экспертная оценка безопасности (успешности) производственной деятельности (по пятибалльной шкале).

В группу экспертов были включены несколько специалистов-руководителей. За показатель производственной деятельности были приняты средние экспертные оценки. Полученные экспертные оценки достаточно объективны, т.к. оценки разных экспертов по одинаковым показателям практически совпадают, и общие оценки профессиональной пригодности разных экспертов не отличаются больше, чем на 1 балл. Для определения информативности показателей психофизиологических методик рассчитывались коэффициенты корреляции взятых психофизиологических параметров с экспертными оценками. Рассчитанные на ЭВМ коэффициенты корреляции всех взятых для обследования психофизиологических параметров с экспертными оценками операторов (диспетчеров) представлены в табл.1.

Из табл.1 видно, что достаточно значимо коррелирует с экспертными оценками профессиональной успешности (безопасности) ( $r=0,54$ ) показатель  $m$ , характеризуемый числом реакций в последних 30 измерениях (из 100), превышающих по величине  $t_{\text{пор}}$  и показатель внимания, характеризуемый числом ошибок  $n$ , допущенных при просмотре таблицы Анфимова ( $r=0,40$ ).

Из этой же таблицы следует, что психофизиологические показатели устойчивости памяти, сложной сенсомоторной реакции, параметры простой сенсомоторной реакции ( $t_{\text{ср.1}}$ ,  $t_{\text{ср.2}}$ ,  $K_1$ ) и число просмотренных знаков таблицы Анфимова статически незначимо связаны с экспертными оценками.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции психофизиологических показателей с экспертными оценками  
(число обследованных – 22 человека)

Коэффициент корреляции	Возраст	Стаж	Внимание		Устойчивость памяти		Простая сенсомоторная реакция				Сложная сенсомоторная реакция		
			число про- смотр. зна- ков	количество ошибок	среднее арифмети- ческое из 5-и зна-	число от- клонений	t <sub>сп.1</sub>	t <sub>сп.2</sub>	K <sub>1</sub> = t <sub>сп.2</sub> / t <sub>сп.1</sub>	число вы- бросов, m	t <sub>сп.3</sub>	t <sub>сп.4</sub>	K <sub>2</sub> = t <sub>сп.4</sub> / t <sub>сп.3</sub>
r	0,15	0,18	0,22	0,4	0,02	0,02	Свет:				0,12	0,22	0,23
							0,24	0,07	0,15	0,33			
							Звук:						
							0,12	0,06	0,15	0,54			

Показатель m высчитывался следующим образом.

С помощью хронорефлексометра РЦП-3 получено 100 значений скорости сенсомоторной реакции испытуемого на световой и звуковой раздражитель.

Такое обилие данных ставит вопрос об их достоверности. Выборка подвергалась предварительной фильтрации, а 10 первых отсчетов не принимались во внимание, трактовались как «обучение».

Для фильтрации выборки использовалась оценка среднеквадратического отклонения, которая определялась - 0,17 от размаха выборки, т.е.:

$$\sigma = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{6}$$

Это позволило упростить алгоритм получения пороговой оценки. Фильтрация выборки заключалась в ее ранжировании, т.е. расположении ее элементов по монотонности и в проверке условия:

$$t_{j+1} - t_j \leq \sigma^*$$

где j+1 - объем выборки.

Если условие (\*) не выполнялось, t<sub>j+1</sub> измерение считалось не достоверным и из дальнейшей обработки исключалось.

После фильтрации определялось пороговое значение времени реакции на световой (звуковой) раздражитель: t<sub>пор.</sub> = t<sub>max</sub> - σ

После этого подсчитывалось число реакций, превышающих по величине t<sub>пор.</sub> в последних 30 измерениях.

Оценка профуспешности, определение критериев безопасности проводилась следующим образом.

Если количество измерений в последующих 30-и превышают t<sub>пор.</sub> в пределах (т):

0-1 - ставилась оценка 5 баллов;

2-3 - ставилась оценка 4 балла;

4-5 - ставилась оценка 3 балла;

6 и более - ставилась оценка 2 балла.

Анализ результатов полученных оценок профессиональной успешности, безопасности

операторов (диспетчеров) по показателям внимания и сенсомоторной реакции (показатель m - количества реакций, превышающих пороговое значение из последних при 100 предъявлений) 30 предъявлений светового или звукового сигнала и экспертных оценок позволяет заключить, что, если считать неприемлемым расхождение между экспертными оценками и оценками профессиональной успешности, безопасности более чем в 1 балл, то надежность предполагаемой методики для различных видов показателей можно оценить соответственно в 91% и 95%.

Если подходить к рассматриваемому вопросу таким образом, то определенную устойчивость проявляют оценки профессиональной успешности (ОПУ) по двум показателям внимания и простой сенсомоторной реакции.

Таким образом, результаты исследований показали, что оценка профессиональной успешности, безопасности операторов (диспетчеров) может производиться по такому показателю функционального состояния нервной системы, как число выбросов, превышающих пороговое значение времени реакции на световой или звуковой раздражитель (m) и показатель внимания (A).

В соответствии с разработанными балльными шкалами к критерию безопасности к высокому уровню профессиональной успешности был отнесен показатель внимания 80% < A < 100% и число выбросов m, не превышающих I.

К низкому уровню профессиональной успешности, ненадежности рабочего отнесен показатель внимания A < 40% и количество выбросов (m) от 6 и более.

Произведена оценка профессиональной значимости психофизиологических параметров (функций) в баллах, определяющих профессиональную успешность деятельности операторов (диспетчеров) и их безопасность (табл.2).

Таблица 2

Психофизиологические показатели, характеризующие профессиональную значимость и степень безопасности труда операторов (в баллах)

№ п/п	Психофизиологические показатели	Фактор ответственности	Фактор загрузки	Средний показатель значимости показателей
1.	Скорость реакции	4,85	4,63	4,74
2.	Общая выносливость	3,85	3,78	3,81
3.	Переключение внимания	5,00	4,80	4,90
4.	Устойчивость внимания	4,82	4,65	4,74
5.	Кратковременная память	4,85	4,78	4,81
6.	Координация движений	3,85	3,20	3,53
7.	Эмоциональная устойчивость	5,0	5,0	5,0
8.	Мышление	4,35	4,05	4,20
9.	Острота слуха	2,05	1,82	1,93
10.	Острота зрения	3,62	3,28	3,45
11.	Световосприятие	4,0	4,0	4,0

Разработаны методические рекомендации и методика проведения экспресс-диагностики успешности (надежности) профессиональной деятельности (операторов) диспетчеров по таким профессионально значимым психофизиологическим показателям, как простая сенсомоторная реакция на световой раздражитель  $X_1$  в баллах, внимание  $X_2$  в баллах. Оценка времени простой сенсомоторной реакции на свет  $X_1$  в баллах производится в зависимости от пределов изменения выбросов ( $m$ ), превышающих  $t_{пор.}$  значения, определяемые по рефлектометру РЦП-3:

Пределы изменения ( $m$ )	Оценка $X_1$ , в баллах
0-1	5
2-3	4
4-5	3
6	2

Оценка внимания  $X_2$  в баллах производится исходя из пределов изменения показателя внимания  $A$ :

Пределы изменения показателя внимания $A$	Оценка изменения $X_2$ , в баллах
$\geq 0,8$	5
0,6-0,79	4
0,4-0,59	3
$\leq 0,39$	2

Комплексная (итоговая) оценка в баллах профессиональной успешности (надежности) предстоящей деятельности испытуемого в качестве оператора (диспетчера), готовности его к выполнению работ в смене определяется по формуле:

$$X_{\text{проф}} = 0,870X_1 + 0,115X_2.$$

При оценке  $X_{\text{проф}} = 5$  баллов исследуемый характеризуется как личность безопасного типа с высокой степенью готовности к выполнению работ в смене; при критерии  $X_{\text{проф}} = 4$  балла - испытуемый получает допуск к работе; оценка  $X_{\text{проф}} = 3$  балла свидетельствует о том, что испытуемый не в полной мере соответствует профессии оператора (диспетчера), у новичка (кандидата в операторы) могут быть трудности в обучении, в овладении данной профессией, а специалист в чрезвычайной, опасной, психологически напряженной ситуации может не справиться со своими профессиональными обязанностями; при оценке 2 балла новичку следует порекомендовать другую работу, а специалисту - восстановление функционального состояния и работоспособности одним из методов или в комплексе: выполнение тренинговой программы, психическая саморегуляция, активная и пассивная релаксация и т.д.

#### Выводы.

Результаты исследования показали, что оценка профессиональной успешности операторов (диспетчеров) может производиться по такому показателю функционального состояния и силы нервной системы, как число выбросов, превышающих пороговое значение времени реакции на световой или звуковой раздражитель ( $t$ ) и показатель внимания ( $A$ ).

В соответствии с разработанными балльными шкалами к высокому уровню профессиональной успешности был отнесен показатель внимания:  $80\% < A < 100\%$  и число выбросов ( $m$ ), не превышающих 1.

К низкому уровню профессиональной успешности отнесен показатель внимания  $A < 40\%$  и количество выбросов  $m$  от 6 и более.

Комплексная оценка готовности человека (испытуемого) к выполнению работ в смене в баллах может быть рассчитана по специально разработанной формуле (разработана совместно с Ю.С.Митаровым).

Прогнозирование успешности профессиональной деятельности оператора (диспетчера) заключается:

- в проведении оценки психофизиологических профессионально важных показателей;
- в получении комплексной оценки профуспешности из оценок отдельных психофизиологических качеств испытуемого и прогноз его успешности (надежности), выраженный балльной оценкой;
- в выдаче конкретных рекомендаций по использованию испытуемого как работника (или кандидата в работники) данной профессии.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Бондарев И.П. Психофизиология труда операторов автоматизированного производства.- М.: Советское радио, 1974. С.74-78.
2. Бондарев И.П., Садыкова Т.П. Психофизиологические компоненты надежности труда операторов энергосистемы // Экспресс-информация, сер. «Научная организация труда, опыт работы с кадрами в Минэнерго СССР», вып.3, Информэнерго.- М.: 1983, С.7-8.
3. Белов С.В., Морозова Л.Л., Сивков В.П. Безопасность жизнедеятельности. Конспект лекций. Ч.1.- М.: ВАСОТ, 1992. 136 с.
4. Горшков С.И., Золина З.М., Мойкин Ю.В. Методики исследований в физиологии труда.- М.: Методика, 1974. 291 с.
5. Психологические проблемы взаимной адаптации человека и машины в системах управления / Под ред. Б.Ф.Ломова, В.Ф.Венды, Ю.М.Забродина.- М.: Наука, 1960. 320 с.
6. Стрюков Г.А. Психофизиологические особенности состояния ожидания при работе за пультом управления: Автореф. дисс. канд. психол. наук.- Горький: ГТУ, 1970. 22 с.
7. Симонов П.В. Эмоциональный мозг.- М.: 1981, 128 с.

## ASSESSMENT OF PROFESSIONAL SUITABILITY OF OPERATORS

Z.I. GUBONINA, D.Sc. (Tech.)

A.S. TsVETKOVA, Eng.

M.L. BARELKO, Eng.

Moscow State Technical University "MAMI", 38, B. Semenovskaya Str., Moscow, 107023, Russia

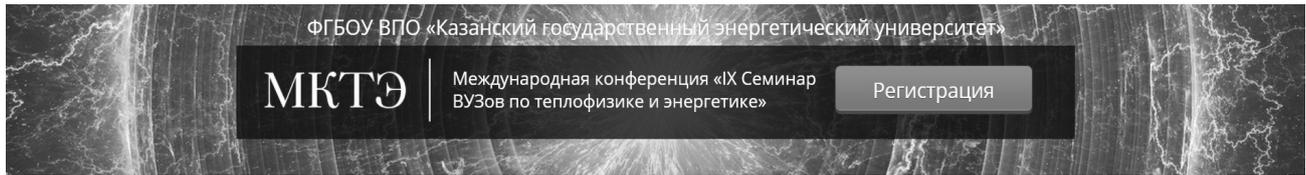
**Abstract.** In article, methods of an assessment of professional suitability of operators are considered. It is noted that feature of work of the operator (dispatcher) is that with receipt of an emergency signal it gets to extreme conditions, i.e. it has to pass quickly from a state relative "operational rest" to active actions, surely there are options of situations demanding the analysis, effort of thought, adoption of different decisions. Results of research showed that the assessment of professional success of operators (dispatchers) could be made on such indicator of a functional state and force of nervous system as number of the emissions exceeding threshold value of time of reaction to a light or sound irritant and an indicator of attention.

**Key words:** operator, dispatcher, assessment of abilities, professional suitability.

#### REFERENCES.

1. Bondarev I.P. Psikhofiziologiya truda operatorov avtomatizirovannogo proizvodstva.- Moscow, Sovetskoe radio, 1974, p.74-78.
2. Bondarev I.P., Sadykova T.P. Psikhofiziologicheskie komponenty nadezhnosti truda operatorov energosistemy // Ekspress-informatsiya, ser. «Nauchnaya organizatsiya truda, opyt raboty s kadrami v Minenergo SSSR», V.3, Informenergo.- Moscow, 1983, p.7-8.
3. Belov S.V., Morozova L.L., Sivkov V.P.. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Konspekt lektzii. Ch.1.- Moscow, VASOT, 1992, 136 p.
4. Gorshkov S.I., Zolina Z.M., Moikin Yu.V. Metodiki issledovaniy v fiziologii truda.- Moscow, Metodika, 1974, 291 p.
5. Psikhologicheskie problemy vzaimnoi adaptatsii cheloveka i mashiny v sistemakh upravleniya / Pod red. B.F.Lomova, V.F.Vendy, Yu.M.Zabrodina.- Moscow, Nauka, 1960, 320 p.
6. Stryukov G.A. Psikhofiziologicheskie osobennosti sostoyaniya ozhidaniya pri rabote za pul'tom upravleniya: Avtoref. diss. kand. psikhol. nauk.- Gor'kii, GTU, 1970, 22 p.
7. Simonov P.V. Emotsional'nyi mozg.- Moscow, 1981, 128 p.

## ИНФОРМАЦИЯ



### Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять активное участие в работе Международной конференции: «IX Семинар ВУЗов по теплофизике и энергетике», которая состоится 21-24 октября 2015 года на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального учреждения «Казанский государственный энергетический университет».

Основным организатором с начала проведения конференций и до настоящего времени является Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН. Первый Семинар кафедр и групп теплофизического профиля вузов Сибири и Дальнего Востока проводился в городе Новосибирск в 1978 году. География проведения конференции с каждым годом расширялась, включая научные центры в Томске, Красноярске, Владивостоке, Барнауле, Иркутске и других городах Российской Федерации.

По Решению VIII Всероссийского семинара ВУЗов по теплофизике и энергетике (12-14 ноября 2013 г., г. Екатеринбург на базе Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина) очередной IX Всероссийский семинар кафедр вузов по теплофизике и теплоэнергетике будет проходить в 2015 году на базе Казанского государственного энергетического университета.

ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет» с готовностью и энтузиазмом принимает эстафету Международной конференции: «IX Семинар ВУЗов по теплофизике и энергетике», которая впервые будет проведена в Европейской части России.

Основные секции Международной конференции: «IX Семинар ВУЗов по теплофизике и энергетике»:

**Секция I.** — «Теплофизика: тепломассообмен, гидрогазодинамика, горение, моделирование».

**Секция II.** — «Теплоэнергетика: развитие парогазовой и угольной энергетики, возобновляемая энергетика, энергосбережение, экология».

**Секция III.** — «Тепловые электрические станции: инновации, исследования, автоматизация».

**Секция IV.** — «Энергоэффективность, энергосбережение и импортозамещение в топливно-энергетическом комплексе».

**Круглый стол.** — «Системы теплоснабжения».

Надеемся, что это событие будет способствовать укреплению связей, координации совместных исследований высших учебных заведений и научно-технических организаций, развитию потенциала университетов и академических учреждений, разработке и внедрению перспективных форм кооперации исследовательских структур, развитию научных школ по направлениям конференции, а также академической мобильности профессорско-преподавательского корпуса и в целом профессионального сообщества специалистов научно-образовательной сферы.

Информация о регистрации, условиях участия, правилах оформления рукописей, размере и форме оплаты орг. взноса доступны на сайте: <http://www.mkte9.ru>.



«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ  
ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ



КАЗАНСКИЙ  
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН

**РОС  
ХИМ  
РЕАКТИВ**



Почтовый адрес: 107076, Москва, а/я 25  
Тел./факс: (495) 223-61-01, 964-98-68  
E-mail: office@arhr.ru  
[www.roshimreaktiv.ru](http://www.roshimreaktiv.ru), [www.arhr.ru](http://www.arhr.ru)

## **СЕМИНАР «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВОДЫ: СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ, НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ»**

15 апреля 2015 года в рамках выставки «Аналитика Экспо 2015», состоится семинар «Современные методы анализа воды: состояние, перспективы, новые разработки».

### **ПРИГЛАШАЕМ ВАС ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В СЕМИНАРЕ!**

**Дата и время проведения:** 15 апреля 2015 г., 14.00-17.00

**Место проведения:** КВЦ «Сокольники», пав. 4, конференц-зал №1

**Организаторы:** НП «РОСХИМРЕАКТИВ», МВК в составе Группы компаний ITE

Семинар, посвященный анализу качества воды, будет интересен специалистам, чья профессиональная деятельность связана с вопросами контроля качества вод различной направленности: фармацевтических, питьевых, промышленных, технологических, поверхностных и сточных вод; а также руководителям, научным работникам, технологам, инженерам, специалистам лабораторий контроля качества.

Темы семинара представляют интерес для компаний и работников различных сфер деятельности:

- водоканалов;
- промышленных предприятий;
- работников фармацевтической отрасли;
- лабораторий контроля качества;
- индустрии водоочистки, водоподготовки, водоснабжения и водоотведения;
- санитарно-эпидемиологических экспертов;
- производственно-экологических предприятий;
- работников сферы охраны окружающей среды.

Присылайте Ваши вопросы! Будем рады видеть Вас на мероприятии.

Участие в семинаре бесплатное, количество мест ограничено.

Более подробная информация о семинаре размещена по ссылке:  
<http://www.arhr.ru/news/pages/180.htm>.

Для посещения семинара мы рекомендуем Вам оформить электронный билет на выставку АНАЛИТИКА ЭКСПО 2015 по ссылке

[http://www.analitikaexpo.com/ru-RU/home/visitors/e-ticket/analitikaexpo\\_2015.aspx](http://www.analitikaexpo.com/ru-RU/home/visitors/e-ticket/analitikaexpo_2015.aspx)

Без электронного билета/приглашения вход на выставку платный (билет можно приобрести в кассе выставки).

Обязательна предварительная регистрация по тел.: +7 (495) 223-61-01, доб.110  
или по электронной почте [pr@arhr.ru](mailto:pr@arhr.ru),  
контактное лицо - Романюк Анна.

## **ЮБИЛЕИ**

### **ПРОФЕССОРУ МЭИ АРАКЕЛЯНУ ЭДИКУ КОЙРУНОВИЧУ - 75 ЛЕТ !**



24 января 2015 года исполнилось 75 лет Эдику Койруновичу Аракеляну доктору технических наук, профессору Национального исследовательского университета «МЭИ» (Московский энергетический институт), признанному специалисту в областях разработки и внедрения АСУ ТП на базе современных программно-технических средств, оптимального управления режимами работы теплового оборудования электростанций и энергосистем, разработки современных компьютерных тренажеров, известному педагогу Российской школы теплоэнергетики, воспитавшему целую плеяду инженеров и научных работников.

Эдик Койрунович окончил Ереванский политехнический институт в 1962 г. В 1965 г. поступил в аспирантуру МЭИ и в 1971 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1986 г. докторскую диссертацию по исследованию и оптимизации переменных режимов ТЭС. С 1993 по 2005 гг. заведовал кафедрой Автоматизированных систем управления тепловыми процессами МЭИ. Аракелян Эдик Койрунович - Почетный энергетик СССР, Заслуженный работник высшей школы, действительный член Академии наук авиации и воздухоплавания РФ, Академии Промышленной Экологии РФ, Инженерной академии Армении.

Им опубликовано свыше 400 научных работ, в том числе 15 учебных пособий, 5 монографий, 15 авторских свидетельств и патентов РФ. Монографии «Применение моторного режима на ТЭС», «Повышение экономичности и маневренности оборудования ТЭС», учебные пособия «Оптимизация и оптимальное управление», «Теория и технология систем управления» и др., написанные им в соавторстве, широко используются в учебном процессе и пользуются большой популярностью среди энергетиков и научных работников. Многие результаты работы Аракеляна Э.К. внедрены на ТЭС России.

Активно участвует в подготовке научных и педагогических кадров через аспирантуру и соискательство, им подготовлено 33 кандидата и 4 доктора технических наук.

Аракелян Э.К. награжден правительственными наградами, многими медалями и орденами, неоднократно отмечен грамотами Минтопэнерго, Минатома, РАО «ЕЭС России» и МЭИ.

Сердечно поздравляем юбиляра, нашего дорогого друга, умного и интеллигентного, трудолюбивого, жизнерадостного и доброжелательного человека, много сил отдающему делу совершенствования электроэнергетики. Желаем ему крепкого здоровья, благополучия, счастья в личной жизни, дальнейших творческих и трудовых успехов.

*КАФЕДРА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ МЭИ  
РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОДОПОДГОТОВКА»*

**СТРАНИЦА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА****\* \* \***

Современный электроэнергетический комплекс России включает около 600 электростанций единичной мощностью свыше 5 МВт. Установленная мощность парка действующих электростанций по типам генерации имеет следующую структуру: тепловые электростанции - 69%, гидравлические - 20%, атомные - около 11 %. Установленная мощность электростанций составляет около 235 ГВт (для сравнения в Китайской Народной Республике - 1300 ГВт, в США - 1100 ГВт). Возраст оборудования на электростанциях России составляет около 35 лет (при этом назначенный (расчетный) срок службы составляет всего 30 лет и уже истёк).

Главный приватизатор и реформатор электроэнергетики Чубайс уже давно бросил электроэнергетику, спрятался в хлебных бюджетных закромах нанотехнологий и, пользуясь своими давними связями, не собирается отвечать за последствия проведенных им реформ. «Мы через 5 лет очнемся и не увидим результаты, не найдем ответственных», - предупреждал председатель в то время кабинета министров РФ М.Е.Фрадков. Так оно и случилось. Основной идеей реформы, продвинутой Чубайсом, стала передача энергоактивов в руки крупного частного, а в большинстве случаев иностранного, капитала. Главным итогом и провалом реформы стал существенный рост стоимости электроэнергии и тепла, которые за прошедшие пять лет поднялись в цене почти втрое и продолжают расти. В 2012 г. цена электричества в России для средних промышленных потребителей составила 0,122 евро за кВт·ч - это существенно выше, чем за рубежом: в 2,5 раза по сравнению с США, с Германией - на 41%, со средней ценой в ЕС - на 25%. Подобные цены снижают конкурентоспособность российских промышленных компаний и, как следствие, конкурентоспособность экономики страны в целом.

В России создана коррупционная система очень сложной и длительной процедуры технического присоединения к системе электроснабжения. В то время как среднее время подключения к электрическим сетям в мире составляет 107 дней, в Германии - 17 дней, в России этот процесс занимает в среднем от 200 до 280 дней. Ситуация с подключением к сетям является лучшей иллюстрацией итогов реформы: дорого, долго, непрозрачно. В то время как в остальных странах потребителей либо подключают вообще бесплатно, либо удельная стоимость подключения в расчете на 1 кВт мощности варьируется в диапазоне от 50 до 200 долларов, в России нужно заплатить почти полторы тысячи долларов. По удельной стоимости подключения в расчете на 1 кВт мощности Россия оказалась самым затратным государством мира!

Между тем, чуда, которое нам обещал Чубайс, главный идеолог и исполнитель этой реформы, не произошло. Не случилось, например, того притока инвестиций в отрасль, который обещал сладкоголосый разрушитель экономики России. При этом, вопреки заявлениям реформаторов, так и не заработали так называемые рыночные механизмы, и вместо одной глобальной государственной монополии, с которой регулирующим органам до реформы удавалось управляться, появилось множество неуправляемых частных, зачастую иностранных, монополий. Бессистемная передача управленческой власти в отрасли из рук профессионалов-энергетиков в руки финансистов и вороватых, не имеющих базового образования и опыта работы в электроэнергетике, «эффективных» мальчиков-менеджеров, родственников высокопоставленных чиновников или банкиров, привела к резкому росту техногенных рисков и к реальным авариям, отключениям и нештатным ситуациям.

В России потеряна старая эффективная и не создана новая система управления перспективным развитием электроэнергетики. В отсутствие обладающих необходимыми кадрами и компетенцией органов государственного управления вопросы перспективного развития электроэнергетики сосредоточились в руках Системного оператора, ключевой компетенцией которого исторически являлось лишь оперативно-диспетчерское управление.

Современная электроэнергетика в России характеризуется существенными перекосами в структуре потребляемых отраслью топливных ресурсов, прежде всего - в чрезмерной доле газа и мазута; значительным снижением научно-технического, энергомашиностроительного и строительного потенциалов; отсутствием эффективной системы корпоративного управления и др. Для развития энергетики (в целом) на современном этапе необходимо, чтобы правительство страны нашло в энергетической политике баланс по трем основным направлениям: энергетическая безопасность (обеспечение эффективности и устойчивости энергоснабжения страны в данный момент и на перспективу); экологическая состоятельность (развитие возобновляемой энергетики и энергосбережения); энергетическое равенство (обеспечение без взятки равных прав доступа к энергоснабжению всех граждан страны).

Реформа и превращение холдинга РАО «ЕЭС России» во множество (более трех тысяч) хозяйствующих субъектов в электроэнергетике по факту ликвидировала отраслевой центр компетенций и единого стратегического управления развития отрасли. В рамках реформы предполагалось, что таким центром станет Министерство энергетики России, однако до настоящего времени этого не происходит. При су-

ществующих кадровых и финансовых возможностях роль государственных органов управления в определении стратегических вопросов развития электроэнергетики остается пока незаметной.

В настоящее время российская электроэнергетика переживает состояние острого кризиса. Существуют крупные препятствия и нерешенные проблемы. Это, прежде всего – затянувшийся системный кризис экономики страны, вызвавший серьезные перебои в системе денежного обращения и финансирования отрасли. В условиях значительного уменьшения бюджетного финансирования, в результате исключения инвестиционной составляющей из себестоимости энергии, электроэнергетика потеряла значительную часть источников инвестиций. Итог неутешителен – затормозилось развитие отрасли.

Кажущееся благополучие балансов покрытия нагрузок ЕЭС России, обусловленное падением электро- и теплопотребления, и возникновение действительных и мнимых резервов притупило остроту проблемы нехватки новых мощностей. Между тем такое положение может иметь только временный эффект. Исчерпание ресурса мощностей лишь тепловых электростанций из-за их старения составляет более половины всей установленной мощности ТЭС в настоящее время.

Качество правительства России, да и всей нынешней власти, наглядно характеризуется нынешней зависимостью от стоимости нефти. То есть, это всё же не правительство, не государство, а частная развалюха-бензозаправка с вороватыми заправщиками, как утверждают заклятые враги России США. За последние три года (2011-2013 гг.) доходы федерального бюджета наполовину формировались за счёт нефтяной и газовой отраслей, причём их удельный вес возрос с 49% в 2011 г. до 51% в 2013 году.

Обрушив под предлогом санкций курс рубля по отношению к расчетным валютам правительство в очередной раз ограбило небогатых людей, почти вдвое обесценив их накопления, пенсии и зарплаты. В выигрыше остались, как и в случае вступления в ВТО, лишь торговцы нефтью и газом, которые получают деньги в валюте, банкиры, нажившиеся на валютных спекуляциях, да чиновники, заранее знавшие об изменении курса рубля. Это же дало правительству повод отдать большие деньги в руки банкиров-ростовщиков, чтобы те ещё больше обогатились на играх с рублем и долларом. Неужели Медведев и его компания всерьёз решили, что банкиры начнут на эти деньги строить заводы и фермы, развивать народное хозяйство, проводить импортозамещение? Или они всерьёз думают, что в условиях финансовой нестабильности найдутся сумасшедшие предприниматели и возьмут у ростовщиков кредиты под 30-40% годовых и начнут строить фабрики и заводы?

Назовем причины, приведшие к нынешнему глубокому кризису экономики нашей страны:

- главной причиной является установленный в России либеральными друзьями США в результате государственного переворота, осуществленного за их деньги, капиталистический строй, всегда характеризующийся разделением населения на кучку богатых прохиндеев и обнищанием большинства населения, экономическими кризисами и войнами;

- низкая квалификация или моральные качества многих управленцев всех уровней;

- отсутствие разумного плана экономического развития страны, а все эти мечталки типа Антикризисного плана правительства РФ, Энергетической стратегии России на период до 2020, 2030 и так далее годов, сами по себе либо нелепы, либо не исполняются;

- внедрённая в России либералами (гайдарами, чубайсами, грефами, немцовыми, набицуллиными и т.п.), которые и сегодня фактически контролируют экономический блок правительства, да и всё правительство, монетаристская концепция управления экономикой - рынок всё решает сам, является лишь прекрасной ширмой для разворовывания средств эффективными бездарями, не умеющими управлять реальной экономикой;

- структура экономики в России основана лишь на распродаже сырьевых и накопленных в СССР ресурсов, нынешнее правительство в силу своей кадровой несостоятельности не в силах организовать восстановление разрушенной промышленности и сельского хозяйства;

- коррупция (вороватые заправщики) в России поглощает около 20% валового продукта, одновременно убивая малый и средний бизнес.

В России фискальная финансовая политика не отвечает целям развития сельского хозяйства и промышленного производства. Капиталисты всегда озабочены лишь своими прибылями, а не улучшением уровня жизни населения. Ставленники капиталистов, управляющие страной, заботятся лишь о собственных высоких доходах. Доходы многих финансистов, чиновников, депутатов в сотни раз превышают среднюю заработную плату в стране, что аморально и недопустимо.

В условиях затянувшегося системного кризиса экономики страны, вызвавшего серьезные проблемы в системе денежного обращения и финансирования, высокооплачиваемые менеджеры, уже очень немалодые мальчики и девочки из экономического блока управления страны, лишь сучат ножками да произносят на гайдаровских форумах мантры («гимны») об эффективности рыночных отношений, мол рынок все сам наладит, а чуть ли не главной своей задачей считают строительство стадионов и успешное проведение чемпионата мира по футболу 2018 года, а главным успехом - проведение самых дорогих в истории сочинских зимних олимпийских игр, во многом подкосивших нашу экономику. Бред какой-то, да и только, как дети, им бы только играть. Брали бы пример с Китайской Народной Республики, где думают не только о себе, но и о своей стране, и об улучшении уровня жизни большинства населения.

Главный редактор журнала Е.М.МАРЧЕНКО

## ЛИТЕРАТУРНАЯ СТРАНИЦА

ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ЕВТУШЕНКО  
(род. 1933)

### ДАЙ, БОГ

Дай Бог, слепцам глаза вернуть  
и спины выпрямить горбатым.  
Дай Бог, быть Богом хоть чуть-чуть,  
но быть нельзя чуть-чуть распятым.  
Дай Бог, не вляпаться во власть  
и не геройствовать подложно,  
и быть богатым — но не красть,  
конечно, если так возможно.  
Дай Бог, быть третьим калачом,  
не сожранным ничьей шайкой,  
ни жертвой быть, ни палачом,  
ни барином, ни попрошайкой.  
Дай Бог, поменьше рваных ран,  
когда идет большая драка.  
Дай Бог, побольше разных стран,  
не потеряв своей, однако.  
Дай Бог, чтобы твоя страна  
тебя не пнула сапожищем.  
Дай Бог, чтобы твоя жена  
тебя любила даже нищим.  
Дай Бог, лжецам замкнуть уста,  
глас Божий слыша в детском крике.  
Дай Бог, живым узреть Христа,  
пусть не в мужском, так в женском лице.  
Не крест - бескрестье мы несем,  
а как сгибаемся убого.  
Чтоб не извериться во всем,  
Дай Бог, ну хоть немного Бога!  
Дай Бог, всего, всего, всего,  
и сразу всем — чтоб не обидно...  
Дай Бог, всего, но лишь того,  
за что потом не станет стыдно.

#### ПРАВИЛА

##### представления и приема рукописей в печать

(размещены в Интернете с формой заявления на сайтах журнала [www.energija.ru](http://www.energija.ru), [www.enivpress.jimdo.com](http://www.enivpress.jimdo.com))

1. Статья представляется по электронной почте или по обычной почте с приложением электронной версии на CD. Статья должна быть подписана всеми авторами.
2. Статья должна иметь объем не более 8 страниц, размер шрифта 12 пт, напечатанных через полтора интервала, с учетом рисунков (не более пяти) и таблиц (не более трех). Страницы должны быть пронумерованы.
3. Текст необходимо набирать с помощью редактора MS Word гарнитурой Arial (без приставок Cyr, CE, Black, Narrow и т.д.), формулы – в приложении MathType.
4. Иллюстрации необходимо выполнить в электронном виде (Grayscale) в графическом формате tif; jpg и т.д., и иметь разрешение не менее 200 dpi. Иллюстрации должны быть упомянуты в тексте и отдельно прикладываться к статьям в форматах, в которых они были выполнены изначально. Подписанные подписи должны прикладываться отдельно от рисунков.
5. Библиографический список составляется в соответствии с действующими требованиями в едином формате, установленном в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).
6. К статье **обязательно** прилагается заявление авторов (по форме, приведенной на сайте редакции, с указанием мест работы всех авторов, их должностей, ученых степеней и званий и контактной информации). Оригинал заявления направляется обычной почтой в адрес учредителя журнала: 107241, г. Москва, а/я 35, 000 «ЭНИВ». Все остальные материалы могут быть присланы по электронной почте.
7. К статье также отдельно **обязательно** должны быть приложены для дальнейшего размещения в журнале и Интернете:
  - название статьи на английском языке;
  - аннотация на русском и английском языках;
  - ключевые слова (не менее пяти) на русском и английском языках;
  - приставочные библиографические списки в едином формате, установленном системой Российского индекса научного цитирования;
  - информация об авторах (с указанием их должности, места работы с указанием почтового адреса и другой контактной информации для размещения в журнале) на русском и английском языках.
8. В конце статьи обязательно наличие ссылок на использованные литературные источники (не более 10).
9. Краткие рекомендации по написанию аннотаций, рефератов к статьям (на основе ГОСТ 7.9-95):  
Объем реферата должен включать минимум 100-150 слов (на русском языке), и 200-250 слов (850 знаков, 10-12 строк) на хорошем техническом английском языке. Реферат включает следующие аспекты содержания статьи: предмет, тему, цель работы; метод или методологию проведения работы; результаты работы; область применения результатов; выводы. Последовательность изложения содержания статьи можно изменить, начав с изложения результатов работы и выводов. Предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они не ясны из заглавия статьи. Результаты работы описывают предельно точно и информативно.
10. Прием к опубликованию работ производится по результатам научной экспертизы.
9. Редакция оставляет за собой право редакторской правки. Научно-технические материалы публикуются бесплатно, авторский гонорар не выплачивается.
10. Статьи направлять по электронной почте: [eniv@energija.ru](mailto:eniv@energija.ru), [eniv2013@gmail.com](mailto:eniv2013@gmail.com), [info@energija.ru](mailto:info@energija.ru) или обычной почтой простыми письмами или бандеролями по адресу: **107241, г. Москва, а/я 35, 000 «ЭНИВ».**

*Применение опубликованных в журнале материалов полностью находится в компетенции пользователя. Редакционная коллегия не дает никаких гарантий, подразумевающих юридическую ответственность в результате использования материалов, равно не несет ответственность за возможный ущерб любого характера. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.*

*Воспроизведение, копирование или передача опубликованных в журнале материалов возможны по предварительному письменному разрешению Главного редактора журнала.*