



№1  
(141)  
ФЕВРАЛЬ  
2023

# ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОДОПОДГОТОВКА

**Исключения применения  
коагулята в схеме очистки  
исходной воды на тепловых  
электрических станциях на  
примере Казанской ТЭЦ-2**

*Гирфанов А.А., Гаврилов А.Ю., Фазлеев Р.Р.*

*(Казанский национальный исследовательский  
технологический университет; АО «Татэнерго»;  
Казанская ТЭЦ-2)*

**Стр. 8**

**Расчёт и оценка эффективности  
установок для утилизации  
вторичных энергетических ресурсов  
на базе турбодетандеров**

*Кондрашова Ю.Н., Третьяков А.М., Шалимов А.В.*

*(Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова)*

**Стр. 35**

**Методы оценки параметров  
мощности ветроэнергетической  
установки**

*Бекиров О.С., Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н.,  
Амерханов Р.А.*

*(Крымский федеральный университет  
им. В.И. Вернадского; КубГАУ)*

**Стр. 61**



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
Издается с 1997 года

# ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОДОПОДГОТОВКА

№ 1 (141)

2023, Февраль

✓ Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных **ВАК РФ** для публикации результатов кандидатских и докторских исследований под порядковым номером **2803** по состоянию на **21.02.2023г.**, а также входит во все предыдущие подобные Перечни изданий ВАК РФ со времени их появления и начала издания журнала.

✓ Журнал включен в международную реферативную базу данных **CAS(pt) – Chemical Abstracts**, библиографическую базу данных – **Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)**.

Научные специальности:

- 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки);
- 2.4.5. Энергетические системы и комплексы (технические науки);
- 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки).

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР** – д.т.н., профессор,  
Р.А. Амерханов

**ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА** – д.т.н., профессор,  
И.В. Юдаев

**ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР** – инженер, Ю.С. Марченко

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**АЛХАСОВ А.Б.** – д.т.н., профессор, директор ИПГВЭ ОИВТ РАН.

**АМЕРХАНОВ Р.А.** – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электротехника, теплотехника и возобновляемые источники энергии», ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

**БЕКИРОВ Э.А.** – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электроэнергетика и электротехника», ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского».

**БУТУЗОВ В.А.** – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Электротехника, теплотехника и возобновляемые источники энергии», ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

**ВЕЛЬКИН В.И.** – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Атомные электростанции и возобновляемые источники энергии», ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

**ГРИГОРАШ О.В.** – д.т.н., д.пед.н., профессор, зав. кафедрой «Электротехника, теплотехника и возобновляемые источники энергии», ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

**КИРПИЧНИКОВА И.М.** – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электрические станции, сети и системы электроснабжения», ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

**НАГАЙ В.И.** – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электрические станции и электроэнергетические системы», ЮРГПУ (НПИ).

**НЕМИРОВСКИЙ А.Е.** – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электрооборудование», ФГБОУ ВО «ВоГУ».

**ОСЬКИН С.В.** – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электрические машины и электропривод», ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

**ПАВЛЕНКО А.В.** – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электромеханика и электрические аппараты», ЮРГПУ (НПИ).

**САМАРИН Г.Н.** – д.т.н., доцент, главный научный сотрудник, зав. лабораторией переработки сельскохозяйственной продукции отдела механизации и автоматизации процессов в животноводстве ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

**ТЯГУНОВ М.Г.** – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии», ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ».

**ЩЕКЛЕИН С.Е.** – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Атомные электростанции и возобновляемые источники энергии», ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

**ЮДАЕВ И.В.** – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Применение электрической энергии», ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

**ЯКИМОВИЧ Б.А.** – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети», СевГУ.

Журнал зарегистрирован  
Государственным Комитетом  
Российской Федерации по печати.  
Свидетельство № 016042  
от 30 апреля 1997 г.  
Свидетельство о перерегистрации  
ПИ № ФС77-84706  
от 06 февраля 2023 г.

Учредитель:  
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ

Журнал издается на средства  
учредителя

Подписной индекс  
42815 – «Урал-Пресс»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
Издается с 1997 года

# ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОДОПОДГОТОВКА

№ 1 (141)

2023, Февраль

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДООЧИСТКА.....                                                                                                                                                                                                          | 4  |
| Бушуев А.Н. Особенности работы Na-катионитовых фильтров первой ступени на уральской воде (на примере ПАО «Орскнефтеоргсинтез»).....                                                                                                        | 4  |
| Гирфанов А.А., Гаврилов А.Ю., Фазлеев Р.Р. Исключения применения коагулята в схеме очистки исходной воды на тепловых электрических станциях на примере Казанской ТЭЦ-2.....                                                                | 8  |
| ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ.....                                                                                                                                                                                                          | 11 |
| Амерханов Р.А., Тищенко И.Ю., Тищенко Д.Ю., Завгородний С.А. Об эффективности применения солнечных фотоэлектрических систем для электроснабжения частного дома в климатических условиях г. Краснодар.....                                  | 11 |
| Батухтин А.Г., Батухтин С.Г., Рудой В.И., Кириллов М.В. Оценка потенциала применения топливных брикетов с добавлением цеолита для снижения выбросов загрязняющих веществ в Забайкальском крае.....                                         | 17 |
| Амерханов Р.А., Кириченко А.С., Кириченко Е.В. Климатические, территориальные и социально-экономические условия Краснодарского края, значимые для правового регулирования энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии..... | 21 |
| ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ.....                                                                                                                                                                                                 | 27 |
| Самарин О.Д. Сравнение скорости остывания воздуха и различных ограждений в помещении при прекращении теплоснабжения.....                                                                                                                   | 27 |
| Ведрученко В.Р., Финиченко А.Ю., Глухова М.В., Лазарев Е.С., Гусаров А.С. О расчете объемов воздуха и продуктов сгорания в котельной топке при работе по схеме сброса в нее отработавших газов газовой турбины.....                        | 31 |
| Кондрашова Ю.Н., Третьяков А.М., Шалимов А.В. Расчёт и оценка эффективности установок для утилизации вторичных энергетических ресурсов на базе турбодетандеров.....                                                                        | 35 |
| Марюшин Л.А., Сенникова О.Б., Микиртычев С.А., Шведов И.Д. Анализ температурных зависимостей сплавов на основе титана и никеля.....                                                                                                        | 41 |
| Шарпар Н.М., Жмакин Л.И., Гостев Д.С. Математическое моделирование теплообменников со смешанной схемой движения потоков.....                                                                                                               | 45 |
| Павлов М.В., Карпов Д.Ф. Результаты термографирования группы строительных объектов в городе Вологде.....                                                                                                                                   | 48 |
| Батухтин А.Г., Середкин А.А., Батухтина И.Ю., Кириллов М.В. Экономические аспекты применения тепловых насосов в технологических схемах крупных источников теплоснабжения на примере ТЭЦ Забайкальского края.....                           | 54 |
| Бекиров О.С., Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н., Амерханов Р.А. Методы оценки параметров мощности ветроэнергетической установки.....                                                                                                        | 61 |
| НОВОСТИ, ПРОБЛЕМЫ, МНЕНИЯ.....                                                                                                                                                                                                             | 65 |
| Кузнецов В.М., Юрчевский Е.Б., Спиридонов В.П. Безопасность атомной электростанции малой мощности проекта 20870. Часть 2. О надежности прототипов АСММ.....                                                                                | 65 |
| СТУДЕНЧЕСКИЕ РАБОТЫ.....                                                                                                                                                                                                                   | 76 |
| Фролова А.А., Лухменев П.И., Фролов Д.В. Расчет уровня энергетически целесообразной теплозащиты наружных ограждающих конструкций в здании центра культуры и искусств.....                                                                  | 76 |
| К ЧИТАТЕЛЯМ И АВТОРАМ.....                                                                                                                                                                                                                 | 79 |

Контактные данные редакции:  
Телефон: +7 (988) 242-63-30,  
8(861) 221-58-54  
Адрес: 350044, г. Краснодар,  
ул. им. Калинина, 13  
E-mail: mem462@yandex.ru  
Сайт: www.energija.ru

Выпуск 1(141), 2023. 12+  
Подписано в печать: 27.02.2023  
Дата выхода в свет: 28.02.2023  
Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Формат 60х84 1/8.  
Тираж 200 экз. Заказ – 80 экз.

Отпечатано в типографии  
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ  
350044, г. Краснодар,  
ул. им. Калинина, 13

Свободная цена

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. FS77-84706  
of February 06, 2023.

**Founder:**  
FSBEI HE Kuban SAU

The magazine is issued  
on money of founder.

**Subscription indexes**  
**42815 – Ural-Press**

SCIENTIFIC-TECHNICAL MAGAZINE  
Published since 1997

# ENERGYSAVING AND WATERTREATMENT

No. 1 (141)

2023, February

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>WATERTREATMENT AND WATER PURIFICATION</b> .....                                                                                                                                                                                                                   | 4  |
| <b>Bushuyev A.N.</b> Features of the operation of first-stage Na-cationite filters on Ural water (on the example of PJSC «Orsknefteorgsintez»).....                                                                                                                  | 4  |
| <b>Girfanov A.A., Gavrilov A.Y., Fazleev R.R.</b> Exceptions to the use of coagulant in the scheme of source water purification at thermal power plants on the example of Kazan CHPP-2.....                                                                          | 8  |
| <b>ENERGYSAVING TECHNOLOGIES</b> .....                                                                                                                                                                                                                               | 11 |
| <b>Amerkhanov R.A., Tishchenko I.Yu., Tishchenko D.Yu., Zavgorodny S.A.</b> On of the effectiveness of the use of solar photovoltaic systems for the power supply of a private house in the climatic conditions of Krasnodar.....                                    | 11 |
| <b>Batukhtin A.G., Batukhtin S.G., Rudoy V.I., Kirillov M.V.</b> Assessment of the potential for application of fuel briquettes with zeolite addition to reduce pollutant emissions in Transbaikal territory.....                                                    | 17 |
| <b>Amerkhanov R.A., Kirichenko A.S., Kirichenko E.V.</b> Climatic, territorial and socio-economic conditions of the Krasnodar territory significant for the legal regulation of power installations based on renewable energy sources.....                           | 21 |
| <b>RESEARCH, DESIGN, CALCULATIONS</b> .....                                                                                                                                                                                                                          | 27 |
| <b>Samarin O.D.</b> Comparison of the cooling rate of air and various fences in the room at the termination of heat supply.....                                                                                                                                      | 27 |
| <b>Vedruchenko V.R., Finichenko A.U., Glukhova M.V., Lazarev E.S., Gusarov A.S.</b> About calculation of volumes of air and combustion products in a boiler furnace when working according to the scheme of discharge of exhaust gases of a gas turbine into it..... | 31 |
| <b>Kondrashova Yu.N., Tretiakov A.M., Shalimov A.V.</b> Calculation and evaluation of the efficiency of installations for the utilization of secondary energy resources based on turbo expander.....                                                                 | 35 |
| <b>Maryushin L.A., Sennikova O.B., Mikirtychev S.A., Shvedov I.D.</b> Analysis of temperature dependences of titanium and nickel-based alloys.....                                                                                                                   | 41 |
| <b>Sharpar N.M., Zhmakin L.I., Gostev D.S.</b> Mathematical modeling of heat exchangers with a mixed flow scheme.....                                                                                                                                                | 45 |
| <b>Pavlov M.V., Karpov D.F.</b> Construction sites thermal mapping results in Vologda.....                                                                                                                                                                           | 48 |
| <b>Batukhtin A.G., Seredkin A.A., Batukhtina I.U., Kirillov M.V.</b> Economic aspects of the application of heat pumps in the technological schemes of large heat supply sources on the example of CHPPs of the Zabaikalsky territory.....                           | 54 |
| <b>Bekirov O.S., Bekirov E.A., Voskresenskaya S.N., Amerkhanov R.A.</b> Methods for estimating the power parameters of a wind power plant.....                                                                                                                       | 61 |
| <b>NEWS, ISSUES, OPINIONS</b> .....                                                                                                                                                                                                                                  | 65 |
| <b>Kuznetsov V.M., Yurchevsky E.B., Spiridonov V.P.</b> Safety of a small nuclear power plant of project 20870. Part 2. On the reliability of the SNPP prototypes.....                                                                                               | 65 |
| <b>STUDENT WORKS</b> .....                                                                                                                                                                                                                                           | 76 |
| <b>Frolova A.A., Lukhmenov P.I., Frolov D.V.</b> Calculation of the level of energetically expectable heat protection of external fencing structures in the building of the center of culture and arts.....                                                          | 76 |
| <b>TO READERS AND SUBSCRIBERS</b> .....                                                                                                                                                                                                                              | 79 |

**Editorial contacts:**  
Phone: +7-988-242-6330,  
8(861) 221-58-54  
Address: 13, Kalinina str.,  
Krasnodar, 350044, Russia  
E-mail: mem462@yandex.ru  
Website: www.energija.ru

Issue 1(141), 2023. 12+  
Signed for print: 27.02.2023  
Publication date: 28.02.2023  
Offset paper. Offset printing.  
Format 60x84 1/8.  
200 copies. Order - 80 copies.

It's printed in printing house  
of FSBEI HE Kuban SAU,  
13, Kalinina str.,  
Krasnodar, 350044, Russia

Free price

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ НА-КАТИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ НА УРАЛЬСКОЙ ВОДЕ (НА ПРИМЕРЕ ПАО «ОРСКНЕФТЕОРГСИНТЕЗ»)

А.Н. БУШУЕВ, к.т.н.

Новотроицкий филиал ФГАОВ «НИТУ «МИСиС», 462359, г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8

**Аннотация.** Рассмотрены основные моменты проведения регенерации Na-катионитовых фильтров первой ступени с предвключенными «голодными» H-катионитовыми фильтрами в условиях работы на уральской воде при заборе в районе города Орск Оренбургской области. Графически и функционально показаны зависимость средней рабочей ионообменной емкости катионита КУ-2-8, коэффициента избытка и удельной доли соли на регенерацию от количества поглощенных ионов жесткости за месяц со средним фильтроциклом от 5500 до 7000 м<sup>3</sup> в условии постоянства абсолютного расхода соли при регенерации. Показана линейная зависимость удельного расхода соли на регенерацию в зависимости показателя снижения жесткости. Произведена оценка расхода энергоресурсов на фильтроцикл и регенерацию Na-катионитового фильтра в условиях работы на уральской воде. Усреднение показателей производилось выборочно по месяцам за последние 3 года эксплуатации фильтров.

**Ключевые слова:** ионообменная очистка, регенерация, умягчение, фильтроцикл, энергопотребление.

Абсолютно на всех производственных установках химической очистки воды присутствует узел умягчения воды, снижающий жесткость исходной воды до требуемых значений, определяемых непосредственно потребителем очищенной воды. Умягчение может осуществляться либо использованием мембранных технологий, либо ионообменных [1]. В силу сложности работы и обслуживания мембранного оборудования и высокой стоимости промывочных реагентов, значительная доля эксплуатируемого оборудования на предприятиях и ТЭС по-прежнему приходится на ионообменные фильтры [1].

В большинстве случаев в наиболее простых схемах водоочистки в качестве узла

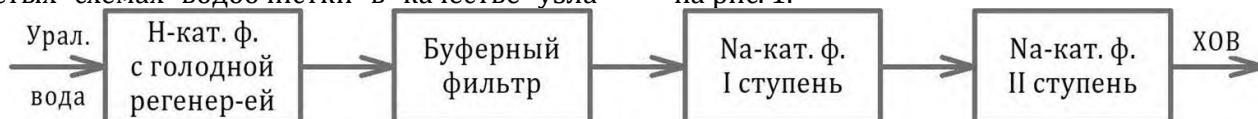


Рис.1. Принципиальная схема водоочистки

Усредненные значения основных показателей уральской воды на вводе в систему:

- общая жесткость – 4,5 мг-экв/кг;
- общая щелочность – 3,1 мг-экв/кг;
- кальций Ca<sup>2+</sup> - 59,8 мг/кг;
- магний Mg<sup>2+</sup> - 6,3 мг/кг;
- величина pH=8,0.

Катионный состав уральской воды может быть выражен следующим образом:

$1 \leq A \leq 10$  и  $0 \leq K \leq 1$ , где показатели катионного K и анионного A состава воды выражаются, в свою очередь [2]:

$$A = \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}}; K = \frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}.$$

Согласно данным за последние 10 лет на протяжении круглого года для уральской воды в данном регионе всегда справедливо соотношение Ж/Щ > 1,0. При таком соотношении предвключенные фильтры с «голодной»

умягчения используются Na-катионитовые фильтры, соединенные в схеме в одну или две ступени. Регенерация подобных фильтров осуществляется растворами соли NaCl концентрацией, как правило, 8-10 %. Расход соли и солевого раствора определяется, прежде всего, показателями исходной воды и требуемой степени умягчения.

На участке химводоочистки нефтеперерабатывающего завода ПАО «Орскнефтеоргсинтез» (г. Орск) умягчение воды осуществляется на Na-катионитовых фильтрах в две ступени с предвключенными H-катионитовыми фильтрами с «голодной» регенерацией. Принципиальная схема представлена на рис. 1.

регенерацией снижают только карбонатную жесткость, определяемую бикарбонатами HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. «Голодная» регенерация H-катионитовых фильтров, работающих в паре с Na-катионитовыми, на предприятии ведется 1,5 %-м раствором серной кислоты.

Na-катионитовые фильтры I-й ступени в рассматриваемой схеме базированы на фильтрах типа ФиПа-1-3,0-0,6, загруженных высокоосновным катионитом марки КУ-2-8 в объеме 13,5 м<sup>3</sup>.

В общем случае режим работы Na-катионитового фильтра может быть охарактеризован показателем снижения жесткости ΔЖ:

$$\Delta J = J_o^{BX} - J_o^{BIX},$$

где J<sub>о</sub><sup>ВХ</sup>, J<sub>о</sub><sup>ВЫХ</sup> – общая жесткость уральской воды на входе и на выходе фильтра.

Эффективность работы Na-катионитового фильтра также может быть определена вторым показателем  $S$ , отображающим удельный расход соли ( $\text{г/м}^3$ ) в регенерационном растворе на единицу фильтроцикла, т.е. на  $1 \text{ м}^3$ . Показатель для рассматриваемых Na-катионитовых фильтров лежит в достаточно широком числовом диапазоне - от 190 до 220  $\text{г/м}^3$ , в отдельных случаях доходя до более

высоких и низких значений, и его зависимость от  $\Delta J$  приблизительно может быть выражена функциями:

$$S(\Delta J) = 82,3 \cdot \Delta J + 50,1;$$

$$S(\Delta J) = -134,4 \cdot \Delta J^3 + 926,6 \cdot \Delta J^2 - 2019,2 \cdot \Delta J + 1618,1.$$

Отдельные выкладки данных по регенерации и фильтроциклам за 3 последних года эксплуатации фильтров приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели расхода соли на регенерацию Na-катионитового фильтра

| Кол-во воды за месяц, $\text{м}^3$ | Кол-во регенераций | Поглощенные за месяц ионы жесткости, $\text{г-экв}$ | Рабочая обменная емкость катионита, $\text{г-экв/м}^3$ | Удельный расход соли, $\text{г/м}^3$ | Кол-во соли за месяц |                    | Коэфф-т избытка соли на регенерацию, |
|------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------------------|
|                                    |                    |                                                     |                                                        |                                      | кг                   | $\text{г-экв/м}^3$ |                                      |
| 18810                              | 3                  | 40302                                               | 995,1                                                  | 212,4                                | 3980                 | 68034              | 1,69                                 |
| 11626                              | 2                  | 28272                                               | 1047,1                                                 | 220,9                                | 2562                 | 43795              | 1,55                                 |
| 5469                               | 1                  | 11906                                               | 881,9                                                  | 260,0                                | 1422                 | 24308              | 2,04                                 |
| 5488                               | 1                  | 10641                                               | 788,2                                                  | 239,4                                | 1314                 | 22462              | 2,11                                 |
| 12667                              | 2                  | 23409                                               | 867,0                                                  | 214,8                                | 2720                 | 46496              | 1,99                                 |
| 5668                               | 1                  | 10718                                               | 793,9                                                  | 228,7                                | 1296                 | 22154              | 2,07                                 |
| 16961                              | 3                  | 36598                                               | 903,7                                                  | 239,3                                | 4050                 | 69231              | 1,89                                 |
| 26710                              | 4                  | 54641                                               | 1011,9                                                 | 202,8                                | 5341                 | 91299              | 1,67                                 |
| 19084                              | 3                  | 40459                                               | 999,0                                                  | 210,5                                | 4014                 | 68615              | 1,70                                 |
| 27364                              | 5                  | 62279                                               | 922,7                                                  | 237,6                                | 6444                 | 110154             | 1,77                                 |
| 12782                              | 2                  | 27188                                               | 1007,0                                                 | 204,3                                | 2591                 | 44291              | 1,63                                 |
| 13210                              | 2                  | 23729                                               | 878,9                                                  | 210,6                                | 2754                 | 47077              | 1,98                                 |
| 13305                              | 2                  | 28015                                               | 1037,6                                                 | 214,0                                | 2808                 | 48000              | 1,71                                 |
| 27952                              | 4                  | 56393                                               | 1044,3                                                 | 192,0                                | 5356                 | 91556              | 1,62                                 |

Фильтроцикл Na-катионитового фильтра с предустановленным H-катионитовым фильтром с «голодной» регенерацией при работе на уральской воде лежит в пределах от 5500 до 7000  $\text{м}^3$ . Данный интервал в последние 5 лет практически не зависит от времени года в связи с малыми весенними паводками, обуславливающими колебание жесткости воды.

Зависимость удельной доли соли  $S$  и коэффициента избытка соли  $k$  от количества поглощенных ионов жесткости  $q$  ( $\text{г-экв}$ ) за месяц с удовлетворительной точностью аппроксимируются функциями:

$$S(q) = -3 \cdot 10^{-6} \cdot q^2 + 0,066 \cdot q - 127,12;$$

$$k(q) = -1,5 \cdot 10^{-4} \cdot q + 3,72.$$

Те же показатели от среднего количества поглощенных ионов жесткости  $q$  ( $\text{г-экв}$ ) за 1 фильтроцикл (рис. 2) аппроксимируются функциями:

$$S(q) = -3 \cdot 10^{-6} \cdot q^2 + 0,066 \cdot q - 127,12;$$

$$k(q) = -1,5 \cdot 10^{-4} \cdot q + 3,72.$$

Поглощенные ионы за месяц с совершенным в среднем 2-3 промежуточных регенераций:

$$F(v) = 1,4865 \cdot v^{1,0348},$$

где  $v$  – расход воды за месяц,  $\text{м}^3$ .

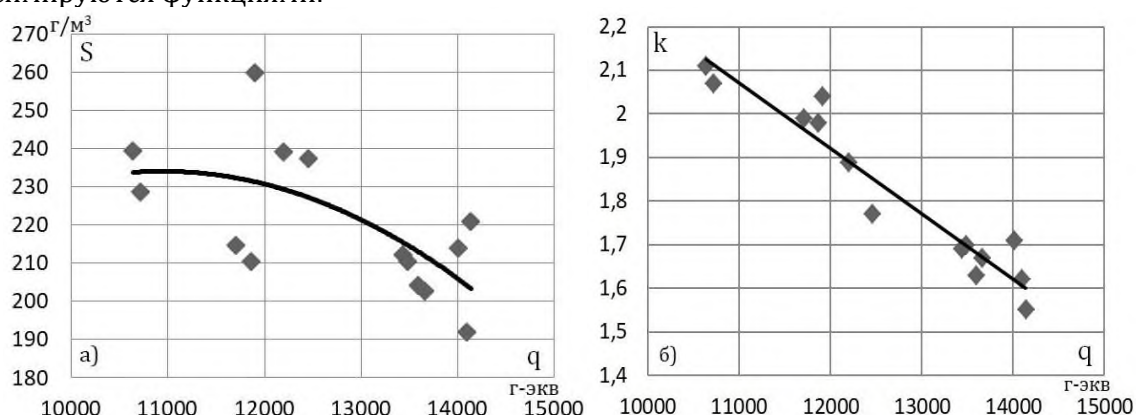


Рис.2. Показатели работы Na-катионитового фильтра от количества поглощенных ионов жесткости за 1 фильтроцикл; а) график зависимости удельной доли соли  $S$  ( $\text{г/м}^3$ ); б) график зависимости коэффициента избытка соли  $k$ .

Зависимость средней рабочей ионообменной емкости  $G$  (г-экв/м<sup>3</sup>) катионита КУ-2-8 от показателя поглощенных ионов жесткости  $F$  (г-экв) за 1 месяц аппроксимируется функцией (рис. 3):

$$G(F) = 271,33 \cdot F^{0,121}.$$

Аналогично от показателя  $q$  за 1 фильтроцикл:

$$G(q) = 0,0741q - 0,0428.$$

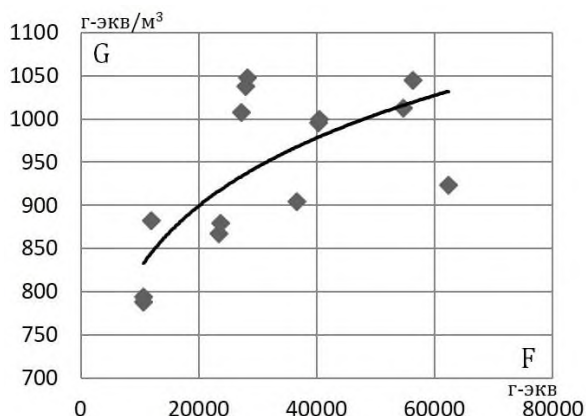


Рис.3. Зависимость средней рабочей ионообменной емкости  $G$  от количества поглощенных ионов жесткости за 1 месяц

Анализируя данные за 3 года, можно проследить некоторую линейную зависимость возрастания фильтроцикла от расхода воды на отмывку. Однако данный показатель начинает снижаться в среднем после 74 м<sup>3</sup>. Каждые 5 лет производится корректировка оптимального расхода воды на отмывку Накатионитовых фильтров 1-й ступени. В последние годы эксплуатации расход 8-ми % раствора составляет 72 м<sup>3</sup> при часовом расходе 60 м<sup>3</sup>/ч.

Энергетические затраты при эксплуатации данных фильтров включают в себя затрату электроэнергии на привод подающих насосов, насосов обратной промывки, насосов регенерации и насосов отмывки. В рассматриваемой схеме обратная промывка и отмывка осуществляется одним насосом. При анализировании энергетических затрат рост перепада давления на фильтре в силу его незначительности не учитывается. Усредненные расходы энергоносителей на процесс регенерации фильтра приведены в таблице 2.

Таблица 2

Расходы энергоносителей на регенерацию фильтров

| Технический процесс            | Продолжительность, мин | Расход воды, м <sup>3</sup> /ч | Мощность привода, кВт | Затраченная энергия, кВт·ч | Затраченный объем воды, м <sup>3</sup> |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| Обратная промывка (взрыхление) | 5                      | 100                            | 75                    | 6,3                        | 8,3                                    |
| Регенерация                    | 35                     | 30                             | 30                    | 17,5                       | 17,5                                   |
| Отмывка                        | 72                     | 60                             | 60                    | 72                         | 72,0                                   |
| Приготовление раствора         | 45                     | 30                             | 30                    | 22,5                       | -                                      |
| Итого                          | 160                    | -                              | -                     | 118,3                      | 97,8                                   |

Изменением расходов электроэнергии и воды на регенерацию в зависимости от фильтроцикла можно пренебречь. Средняя потребляемая мощность подающим насосом при его недогрузке за вычетом электрических затрат на преодоление потерь в трубной обвязке фильтра составляет порядка 30...35 кВт при усредненном расходе через фильтр 50 м<sup>3</sup>/ч. Таким образом, полный расход электроэнергии на 1 фильтроцикл лежит в пределах 4000... 4800 кВт·ч, удельный показатель составляет 0,72...0,75 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Доля, приходящаяся на регенерацию – 2,4...2,5 %. При учете потерь давления в трубной обвязке фильтра полный расход электроэнергии повышается на 8,5 %.

Была организована краткосрочная корректировка режима регенерации с повышением концентрации соли в регенерационном растворе до 10,5 % и сокращением расхода

регенерационного раствора до 16 м<sup>3</sup> и времени процесса регенерации до 30 мин. Согласно проведенным замерам мощности электропривода насоса в данном режиме суммарный расход электроэнергии на регенерацию снизился до 114 кВт·ч, так как корректировки в другие стадии регенерации не вводились.

По результатам десяти регенераций данная корректировка привела к незначительным увеличениям фильтроцикла на 3,5 % и увеличению на 10,5 % показателя избытка соли (рис. 4). Линейная зависимость показателя  $k$  при этом:

$$k(q) = -144,5 \cdot 10^{-6} \cdot q + 3,849.$$

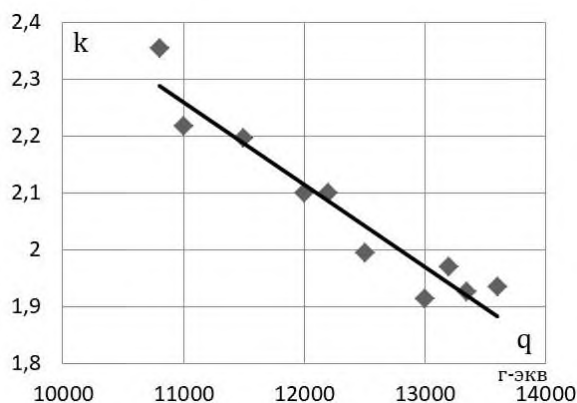


Рис.4. График зависимости коэффициента избытка соли  $k$  от количества поглощенных ионов за 1 фильтроцикл при увеличении концентрации соли в регенерационном растворе

Для устранения отрицательных результатов, обусловленных ростом избытка соли, необходимо увеличение длительности самого процесса регенерации с возможным замачиванием на короткий период до 5 минут и последующим увеличением длительности отмывки на 10 %. Однако данные мероприятия приведут к увеличению доли энергетических затрат на регенерацию до 3 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что в рассматриваемых условиях работы

фильтров на уральской воде принятая концентрация соли 7,8...8,0 % в регенерационном растворе является наиболее оптимальной при значительной наработке катионита, обусловленной тем, что ежегодная досыпка нового катионита составляет не более 10 %, а полная замена катионита не осуществлялась за последние 10 лет эксплуатации. Увеличение концентрации регенерационного раствора не снижает показатель удельного расхода электроэнергии, но увеличивает удельную долю соли (г/т), что отрицательно с экономической точки зрения.

При оценке работы Na-катионитового фильтра следует также отметить достаточно стабильный режим и циклически повторяющиеся показатели, множество которых с достаточной точностью подчиняются функциональному описанию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ларин, Б. М. Проблемы эксплуатации ионообменной и мембранной технологии / Б.М. Ларин, Е.Б. Юрчевский // Теплоэнергетика. – 2019. – № 10. – С. 70-74.

2. Громогласов А.А., Копылов А.С., Пильщиков А.П. Водоподготовка: Процессы и аппараты: учеб. пособие для вузов / Под ред. О.И. Мартыновой. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 272 с.

## FEATURES OF THE OPERATION OF FIRST-STAGE NA-CATIONITE FILTERS ON URAL WATER (ON THE EXAMPLE OF PJSC «ORSKNEFTEORGSIINTEZ»)

A.N. BUSHUEV, Ph. D. (tech.)

Novotroitsk Branch "NRTU "MISiS", 8, Frunze str., Novotroitsk, 462359, Russia

**Abstract.** The main points of the regeneration of Na-cationite filters of the first stage with pre-connected "hungry" H-cationite filters in the conditions of operation on the Ural water at the intake near the city of Orsk, Orenburg region, are considered. Graphically and functionally, the dependence of the average working ion exchange capacity of KU-2-8 cationite, the excess coefficient and the specific fraction of salt for regeneration on the number of absorbed hardness ions per month with an average filter cycle from 5500 to 7000  $m^3$  under the condition of constant absolute salt consumption during regeneration is shown. The linear dependence of the specific salt consumption for regeneration depending on the stiffness reduction index is shown. The estimation of the energy consumption for the filter cycle and the regeneration of the Na-cationite filter in the conditions of operation on the Ural water was carried out. The indicators were averaged selectively by months for the last 3 years of filter operation.

**Key words:** ion exchange purification, regeneration, softening, filter cycle, energy consumption.

#### REFERENCES

1. Larin, B. M. Problemy jekspluatatsii ionoobmennoj i membrannoj tehnologii / B.M. Larin, E.B. Jurchevskij // Теплоэнергетика. – 2019. – № 10. – P. 70-74.
2. Gromoglasov A.A., Kopylov A.S., Pil'shchikov A.P. Vodopodgotovka: Protsessy i apparaty: ucheb. posobie dlya vuzov / Pod red. O.I. Martynovoi. – Moscow, Energoatomizdat, 1990, 272 p.