

DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-5-484-492

УДК 621.182.12.001.2.008

## О новой технологии подготовки горячей питьевой воды

М. Ф. Джалилов<sup>1)</sup>, М. М. Азимова<sup>1)</sup>, А. М. Джалилова<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Азербайджанский архитектурно-строительный университет (Баку, Азербайджанская Республика)

© Белорусский национальный технический университет, 2017  
Belarusian National Technical University, 2017

**Реферат.** В статье приводятся сведения о новой технологии СI-анионирования при подготовке горячей питьевой воды. Указанная технология в отличие от умягчения воды, где соли жесткости замещаются в катионите катионами натрия, позволяет заменить накипеобразующие  $\text{HCO}_3^-$ - и  $\text{SO}_4^{2-}$ -анионы в сильноосновном анионите  $\text{Cl}^-$ -ионами. В результате предотвращается образование накипи на поверхностях нагрева подогревателей горячего водоснабжения. Таким образом, ценные для человеческого организма катионы жесткости остаются в составе воды, и ее качество удовлетворяет качеству питьевой воды. Учитывая важную роль кальция и магния для человеческого организма, в Германии и Турции ограничивается минимальное значение катионов жесткости в питьевой воде соответственно до 2,85 и 7,50 мг-экв/л. По данным Всемирной организации здравоохранения, в составе питьевой воды концентрация катионов магния и кальция рекомендуется соответственно в пределах 10–(20–30) и 20–50 мг/л; минимальное значение общей жесткости 2–4 мг-экв/л. Согласно разработанной технологии питьевая вода последовательно в направлении сверху вниз пропускается через механический и хлор-анионитный фильтры. В последнем основная часть  $\text{HCO}_3^-$ - и  $\text{SO}_4^{2-}$ -ионов воды обменивается на  $\text{Cl}^-$ -анионы анионита. Далее вода собирается в бак, откуда насосом через аппарат ультрафиолетовой дезинфекции подается в подогреватель горячего водоснабжения. После истощения анионита  $\text{SO}_4^{2-}$ - и  $\text{HCO}_3^-$ -анионами осуществляется его регенерация раствором (8–12)%-й NaCl. Излагаются результаты исследований анионитами Purolite A200EMBCI и AB-17-8. Отмечается, что при удельном расходе соли на регенерацию около 45–55 кг/м<sup>3</sup> рабочая обменная емкость A200EMBCI получается в пределах 300–370 г-экв/м<sup>3</sup>. При анионировании воды остаточная концентрация  $\text{HCO}_3^-$ -ионов изменялась в пределах от 0,5 до 3,2 мг-экв/л. Средняя концентрация этих анионов при исходном их значении, равном 4,4 мг-экв/л, получилась в пределах от 1,8 до 2,2 мг-экв/л.

**Ключевые слова:** технология, СI-анионирование, питьевая вода, обменная емкость, удельный расход, расход соли, регенерация, очистка, анионит, катионы жесткости, бикарбонат-ионы, качество воды, H-катионирование, умягчение, концентрация

**Для цитирования:** Джалилов, М. Ф. О новой технологии подготовки горячей питьевой воды / М. Ф. Джалилов, М. М. Азимова, А. М. Джалилова // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2017. Т. 60, № 5. С. 484–492. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-5-484-492

---

### Адрес для переписки

Джалилов Мардан Фарадж оглы  
Азербайджанский архитектурно-строительный университет  
ул. А. Султановой, 5,  
AZ1073, г. Баку, Азербайджанская Республика  
Тел.: +99 412 454-47-25  
jalilovm@rambler.ru

### Address for correspondence

Jalilov Mardan F.  
Azerbaijan University of Architecture  
and Construction  
5 A. Sultanovoy str.,  
AZ1073, Baku, the Azerbaijani Republic  
Tel.: +99 412 454-47-25  
jalilovm@rambler.ru

---

## On a New Technology of Preparation of Hot Drinking Water

M. F. Jalilov<sup>1)</sup>, M. M. Azimova<sup>1)</sup>, A. M. Jalilova<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Azerbaijan University of Architecture and Construction (Baku, the Azerbaijani Republic)

**Abstract.** The present article contains information concerning the new Cl-anionization technology in the preparation of hot drinking water. In contrast with water softening, that replaces all the hardness salts by sodium cations in the cation exchanger, this new technology makes it possible to replace incrustating  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ -anions in a strong-base anion exchanger by Cl<sup>-</sup>-ions. As a result, the incrustation on the surfaces of heating hot water heaters is prevented. Thus, cations of hardness that are valuable for the human body remain in the water, the quality of the latter conforming to drinking water quality. Considering the important role of calcium and magnesium in the human body, in Germany and Turkey the minimum value of hardness cations in drinking water is limited to 2.85 and 7.50 mg-Eqv/l, respectively. According to the World Health Organization, in the composition of drinking water, the concentration of cations of magnesium and calcium is recommended, respectively, within 10–(20–30), and 20–50 mg/l; the minimum value of total hardness is 2–4 mg-Eqv/l. According to the developed technology drinking water is passed consistently in the downward direction through the mechanical and chlorine-anionite exchanger filters. In the latter, the main part of  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ -water ions are exchanged for Cl-anions of anionite. Then the water is collected in the tank, from where it is pumped to the hot water heater through the ultraviolet disinfection unit. After the depletion of the anionite by  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{HCO}_3^-$ -anions, it is regenerated by a solution of 8–12 % NaCl. The results of research by the anion exchangers Puro-lite A200EMBCl and AB-17-8 are plotted. It is noted that when the specific consumption of salt for regeneration is of about 45–55 kg/m<sup>3</sup>, working exchange capacity of the A200EMBCl occurs to be in the range 300–370 g-Eqv/m<sup>3</sup>. For anionization of water, the residual concentration of  $\text{HCO}_3^-$ -ions are changed from 0.5 to 3.2 mg-Eqv/l. The average concentration of these anions occurs to be between 1.8 and 2.2 mg-Eqv/l, when their initial value is 4.4 mg-Eqv/l.

**Keywords:** technology, Cl-anion exchange process, drinking water, exchange capacity, specific consumption, consumption of salt, regeneration, purification, anionite, cations of hardness, bicarbonate ions, water quality, H-cation exchange, softening, concentration

**For citation:** Jalilov M. F., Azimova M. M., Jalilova A. M. (2017) On a New Technology of Preparation of Hot Drinking Water. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Egn. Assoc.* 60 (5), 484–492. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-5-484-492 (in Russian)

### Введение

При нормальной жизнедеятельности человеческому организму за один день, по разным оценкам, требуется от 1,5–2,5 до 6,0 л воды. Указанное количество воды поступает в виде жидкости, в составе пищи, а незначительная часть образуется в организме. Жидкость в организм поступает в основном в виде питьевой воды. Рациональный режим потребления питьевой воды с нормальным химическим составом обеспечивает благоприятный водно-солевой баланс в организме. Поэтому во всех странах мира к качеству питьевой воды предъявляются специальные требования. В ней ограничивается содержание концентрации катионов, анионов и других показателей. Один из важнейших компонентов питьевой воды – концентрация катионов жесткости кальция и магния.

Как известно, важнейшая составляющая костей и зубов человека – кальций. Он важен также для обеспечения нормальной работы сердца, внутриклеточной передачи информации, свертываемости крови и является регулятором нервно-мышечной возбудимости.

Немаловажное значение для человеческого организма имеют также катионы магния. Они являются кофактором и активатором не менее 300 ферментативных реакций в организме. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), дефицит кальция и магния в организме человека даже в развитых странах мира не может компенсироваться продуктами питания, особенно если питьевая вода бедна этими катионами [1–5].

У людей, пьющих обессоленную воду, полученную, например, в домашних обратноосмотических аппаратах, отфильтрованную через известняк, наблюдается нехватка кальция и магния в организме. Указанное было выявлено в городе Шевченко, где у людей наблюдались пониженная активность щелочной фосфатазы, уменьшение концентрации фосфора и кальция в плазме и декальцификация костной ткани.

Если недостаток поступления некоторых веществ в организм проявляет себя спустя несколько лет, недостаток кальция и магния обнаруживает себя гораздо быстрее – с увеличением количества больных с проблемами сердечно-сосудистой системы. К примеру, можно отметить население Чехии и Словакии, использовавшее в 2000–2002 гг. воду от центральной системы водоснабжения, где ее обработка осуществлялась на обратноосмотических аппаратах. Увеличилось число людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями, у многих наблюдались усталость, слабость, мышечные судороги [1, 2].

Употреблять воду, бедную кальцием и магнием, особенно вредно для детей и женщин. У детей повышается риск переломов, происходят нейродегенеративные изменения. А у женщин это приводит к преждевременным родам и снижению веса новорожденных детей.

Учитывая столь важную роль катионов кальция и магния для человеческого организма, некоторыми государствами, такими как Германия и Турция, было ограничено минимальное значение катионов жесткости в питьевой воде. Например, в Германии, по некоторым литературным данным, минимальная концентрация жесткости в питьевой воде ограничивается значением 2,85 мг-экв/л. В Турции рекомендуемые значения катионов жесткости кальция и магния соответственно равны 5,0 и 2,5 мг-экв/л, а допустимая максимальная общая жесткость 10 мг-экв/л. Такое же максимальное значение жесткости значится и в нормах ВОЗ. Согласно ВОЗ, в составе питьевой воды рекомендуются концентрации:

- катионов магния – минимальное значение 10, максимальное 20–30 мг/л;
- катионов кальция – минимальное значение 20, оптимальное значение 50 мг/л;
- минимальное значение общей жесткости 2–4 мг-экв/л.

В России, например, для питьевой воды нецентрализованного и централизованного водоснабжения имеются ограничения только по максимальному значению общей жесткости, равной 7–10 мг-экв/л [6–8]. Имеются ограничения и по минимальному значению общей жесткости воды, расфасованной в емкости – 1,5 мг-экв/л [8]. Отсутствие ограничения по минимальному значению общей жесткости в основном связано с предотвращением накипеобразования на теплопередающих поверхностях нагрева установок подготовки горячей воды.

### **Основная часть**

Как известно, часть питьевой воды в квартиры подается в горячем виде. Указанная вода греется в подогревателях горячего водоснабжения на теплопередающих поверхностях, на которых осаждаются накипь. Учитывая, что коэффициент теплопроводности накипи в десятки раз меньше, чем латуни или стали, из которых обычно изготавливается поверхность нагрева подогревателей, это приводит к снижению их тепловой производительности. Кроме того, происходит осаждение накипи также в трубопроводах горячей воды, что повышает их гидравлическое сопротивление, в результате уменьшается расход горячей воды, подаваемой потребителям. Иногда это приводит к полному засорению сечения труб накипью и прекращению подачи горячей воды.

Образование накипи гораздо больше вредит аппаратам подготовки горячей воды, например на электро- или газонагревателях, где средний температурный уровень значительно выше, чем на водоводяных или же пароводяных подогревателях. Образование накипи на поверхности нагрева этих аппаратов приводит к ухудшению у них коэффициента теплопередачи, в результате чего происходит повышение температуры металла, деформация, разуплотнение нагреваемых частей и выход их из строя.

Для снижения накипеобразования в процессе подготовки горячей воды применяются различные технологии. К ним можно отнести подкисление, Н-катионирование в «голодном» режиме регенерации, магнитную обработку, обработку воды магнезитом и т. д. [9–11].

Однако все эти методы, кроме магнитной обработки и подкисления, предусматривают снижение концентрации катионов жесткости в обрабатываемой воде, иногда даже ниже допустимого минимального значения. В некоторых случаях для предотвращения образования накипи на поверхностях нагрева аппаратов подготовки горячей воды осуществляется полное умягчение нагреваемой воды, которое недопустимо по вышеизложенным причинам. Применение же метода подкисления не всегда представляется возможным, особенно на предприятиях, где использование кислоты как агрессивного реагента не допускается. Метод магнитной обработки воды не всегда дает положительные результаты и поэтому редко применяется.

Известно, что накипь в основном состоит из катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , анионов  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ . Основные технологии обработки воды предусматривают снижение катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в обрабатываемой воде.

Предложенная новая технология подготовки воды для горячего водоснабжения предусматривает снижение в обрабатываемой воде концентрации накипеобразующих не катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , а анионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$ ; из последнего образуются  $\text{CO}_3^{2-}$  - и  $\text{OH}^-$  -ионы. Указанный процесс осуществляется на высокоосновных анионитах, обычно пищевого качества. Аниониты при этом регенерируются раствором легкодоступного, неагрессивного и широко распространенного реагента  $\text{NaCl}$ .

Известна технология  $\text{Na-Cl}$ -ионирования воды, согласно которой в обрабатываемой воде одновременно происходит снижение жесткости и щелочности [6]. Для этого обрабатываемая вода последовательно пропускается через  $\text{Na}$ -катионитные фильтры первой ступени,  $\text{Cl}$ -анионитные и  $\text{Na}$ -катионитные фильтры второй ступени. В отличие от  $\text{Na}$ -катионирования, в процессе этого происходит резкое повышение концентрации катионов жесткости после их проскока в умягченной воде,  $\text{Cl}$ -анионитные фильтры работают с определенным значением проскока  $\text{HCO}_3^-$ -ионов, и основная часть очищенной воды содержит проскочившие  $\text{HCO}_3^-$ -анионы с концентрацией 1,0–1,5 мг-экв/л. Поэтому указанная технология применяется в котельных, где требуется снижение щелочности воды до 1,0–1,5 мг-экв/л [6]. Очевидно, что такую воду пить нельзя. Поэтому использовать технологию  $\text{Na-Cl}$ -ионирования воды для горячего водоснабжения не представляется возможным.

Применение же предлагаемой новой технологии  $\text{Cl}$ -анионирования для подготовки воды, подаваемой на горячее водоснабжение, позволяет снизить в обрабатываемой воде концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  - и  $\text{HCO}_3^-$  -анионов и предотвратить или же резко уменьшить накипеобразование в системе горячего водоснабжения.

Схема осуществления предлагаемой технологии показана на рис. 1. Как следует из рисунка, питьевая вода, последовательно в направлении сверху вниз пропускается через механический и хлор-анионитный фильтры. В механическом фильтре она очищается от присутствующих в ней возможных механических примесей. В хлор-анионитном фильтре происходит анионный обмен. Здесь основная часть сульфат- и бикарбонат-ионов воды обменивается на хлор-анионы анионита. Далее вода собирается в бак обработанной воды, откуда насосом через аппарат ультрафиолетовой дезинфекции подается в подогреватель горячего водоснабжения. После нагрева до установленного значения температуры она подается потребителям горячей воды.

После истощения анионита  $\text{SO}_4^{2-}$  - и  $\text{HCO}_3^-$  -анионами осуществляется его регенерация раствором (8–12)%-й поваренной соли. Скорость пропускания раствора соли через загрузки анионита принимается 4–6 м/ч.

Учитывая, что при обработке часть  $\text{SO}_4^{2-}$  - и  $\text{HCO}_3^-$  -анионов воды замещается хлор-ионами из анионита, вода при ее нагреве становится менее опасной по отношению к выпадению из нее накипи. Таким образом, количество накипи, выпадающей на поверхности нагрева подогревателя горячего водоснабжения и в трубопроводах горячей воды, значительно уменьшается.

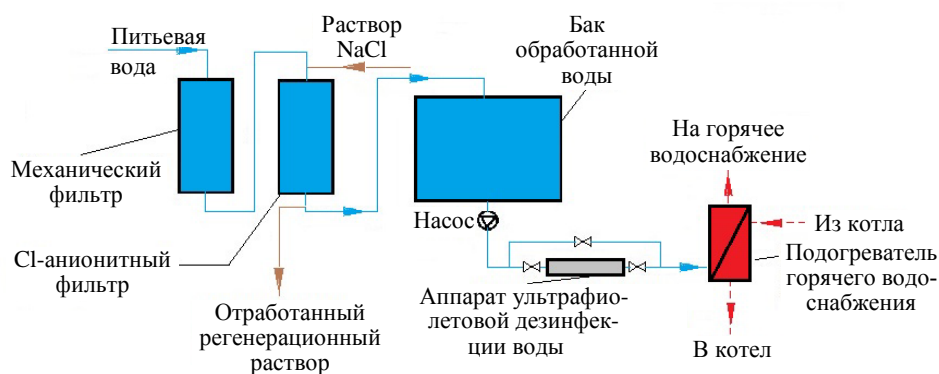


Рис. 1. Технологическая схема обработки воды Cl-анионированием

Fig. 1. Technological scheme of water treatment with Cl-anion exchange process

Для определения технологических параметров процесса хлор-анионирования воды проводились экспериментальные исследования на опытной установке, где впервые была внедрена предложенная технология. Опытная установка состояла из фильтра размером  $\Phi 16'' \times \text{H} 65''$  с автоматическим электронным клапаном управления. Он был загружен сильноосновным анионитом пищевого качества фирмы Purolite A200EMBCl объемом 125 л. На обработку подавалась пресная питьевая вода с исходной щелочностью 4,4 мг-экв/л. При обработке снижались концентрации как  $\text{SO}_4^{2-}$  -, так и  $\text{HCO}_3^-$  -ионов. Отключение анионита на регенерацию осуществлялось при повышении концентрации  $\text{HCO}_3^-$  -ионов в обработанной воде до 3,2–3,5 мг-экв/л. Объем обработанной воды измерялся счетчиками, установленными на линии обработанной воды и на управляющем клапане. Регенерация анионита осуществлялась 10%-м раствором поваренной соли с удельным расходом 25, 50 и 75 кг/м<sup>3</sup> и со скоростью фильтрования 10 м/ч. Получено, что с повышением значения удельного расхода соли от 25 до 75 кг/м<sup>3</sup> рабочая обменная емкость поглощения анионита по  $\text{HCO}_3^-$  -ионам повышается от 144 до 395 г-экв/м<sup>3</sup>.

Эксплуатация анионитного фильтра в течение полутора лет показывала эффективность данной технологии. При этом рабочая обменная ем-

кость поглощения анионита при удельном расходе соли на регенерацию 45–55 кг/м<sup>3</sup> получилась в пределах 300–370 г-экв/м<sup>3</sup>. До включения в работу установки анионирования воды трубопроводы горячей воды часто забивались накипью, а подогреватели промывались через каждые три-четыре месяца. Сетки смесителей горячей и холодной воды очищались один раз в неделю.

После десятимесячной эксплуатации анионитного фильтра вскрыли трубопроводы горячей воды, в которых накипи практически не было. Незначительное количество накипи наблюдалось в подогревателях горячей воды. Смесительные сетки стали прочищать каждый месяц.

При анионировании воды остаточная концентрация  $\text{HCO}_3^-$ -ионов изменялась в пределах от 0,5 до 3,2 мг-экв/л. Средняя концентрация этих анионов при исходном их значении, равном 4,4 мг-экв/л, при этом получилась 1,8–2,2 мг-экв/л. Один из характерных процессов анионирования воды показан на рис. 2.

Аналогичные результаты получены также при загрузке фильтра анионитом АВ-17-8. При загрузке анионитом АВ-17-8 остаточное значение бикарбонат-ионов получилось на 10–15 % меньше, чем при анионировании воды на анионите Purolite A200EMBCl. Соответственно и рабочая обменная емкость поглощения анионита АВ-17-8 оказалась больше, чем у анионита Purolite A200EMBCl.

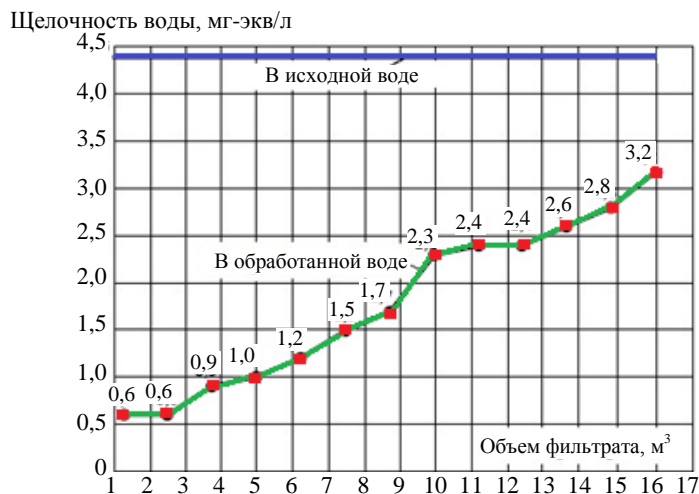


Рис. 2. Изменение щелочности обработанной воды в зависимости от величины объема фильтрата

Fig. 2. The change in alkalinity of the treated water depending on the value of the volume of the filtrate

## ВЫВОДЫ

1. Разработаны технология хлор-анионирования воды и схема ее осуществления с высокоосновным анионитом.

2. Исследован процесс хлор-анионирования воды на опытно-промышленной установке анионитами Purolite A200EMBC1 и АВ-17-8.

3. Значение рабочей обменной емкости анионита Purolite A200EMBC1 при удельном расходе соли на регенерацию около 45–55 кг/м<sup>3</sup> получилось в пределах 300–370 г-экв/м<sup>3</sup>.

4. Процесс хлор-анионирования воды позволяет уменьшить накипеобразование на теплопередающих поверхностях нагрева и трубопроводах системы горячего водоснабжения.

5. Технология хлор-анионирования воды дает возможность предотвратить накипеобразование без уменьшения катионов кальция и магния, которые важны для человеческого организма.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нутриенты в питьевой воде [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://filtrinfo.ru/o-vode/nutrienty-v-pit-evoj-vode.html>
2. Консенсус экспертов. Доклад совещания экспертов. Общественное здравоохранение и окружающая среда [Электронный ресурс]. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2008. Режим доступа: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/Ca%2BMg\\_consensusrep\\_ru.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/Ca%2BMg_consensusrep_ru.pdf)
3. Вред дистиллированной воды [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.live-wtr.ru/vred-distillirovannoi-vody>.
4. Европейская Директива 80/778/ЕЕС от 15 июля 1980 г. по качеству питьевой воды, предназначенной для употребления человеком // Официальный журнал Европейского Союза. 1980. L229. С. 11–29.
5. Руководство по качеству питьевой воды. 2-е изд., в 2 т. Критерии безопасности для здоровья и другая сопутствующая информация. Женева: ВОЗ, 1996. Т. 2. С. 237–240.
6. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников: СанПиН 2.1.4.1175–02: введ. 01.03.2003. М., 2003. 20 с.
7. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.1.4.1074–01. М., 2002. 90 с.
8. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.1.4.1116–02. Москва, 2002. 22 с.
9. Лифшиц, О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок. / О. В. Лифшиц. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1976. 288 с.
10. Мещерский, Н. А. Эксплуатация водоподготовительных установок электростанций высокого давления. 2-е изд., перераб. / Н. А. Мещерский. М.: Энергоатомиздат, 1984. 408 с.
11. Методические указания. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля: РД 24.031.120–91. Москва, 1991. 31 с.

Поступила 12.01.2017 Подписана в печать 20.03.2017 Опубликована онлайн 29.09.2017

#### REFERENCES

1. *Nutrients in Drinking Water* (20.04.2015). Available at: <https://filtrinfo.ru/o-vode/nutrienty-v-pit-evoj-vode.html> (in Russian).



2. *The Consensus of Experts – Report of the Expert Meeting. Public Health and the Environment.* (2008). Geneva, World Health Organization. Available at: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/Ca%2BMg\\_consensusrep\\_ru.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/Ca%2BMg_consensusrep_ru.pdf). (in Russian).
3. *Harm of Distilled Water.* Available at: <http://www.live-wtr.ru/vred-distillirovannoi-vody> (in Russian).
4. European Directive 80/778/EEC of 15 July 1980 on the Quality of Drinking Water Intended for Human Consumption. (1980) *Official Journal of the European Union*, L229, 11–29 (in Russian).
5. *A Guide to Drinking Water Quality. Vol. 2: Safety Criteria for Health and Other Related Information.* 2<sup>nd</sup> ed. (1996). Geneva, WHO, 237–240 (in Russian).
6. Sanitary Regulations and Norms (SanPiN) 2.1.4.1175–02. Hygienic Requirements to Water Quality of Centralized Water Supply. Sanitary Protection of Sources. Moscow, 2003. 20 (in Russian).
7. Sanitary Regulations and Norms (SanPiN) 2.1.4.1074–01. Drinking Water. Hygienic Requirements to Water Quality of Centralized Water Supply Systems. Quality Control. Sanitary-Epidemiological Rules and Norms. Moscow, 2002. 90 (in Russian).
8. Sanitary Regulations and Norms (SanPiN 2.1.4.1116–02). Drinking Water. Hygienic Requirements to the Quality of the Water Packaged in Capacity. Quality Control. Sanitary-Epidemiological Rules and Standards. Moscow, 2002. 22 (in Russian).
9. Lifshchits O. V. (1976) *Handbook for Process Boilers.* 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Energiya Publ. 288. (in Russian).
10. Meshcherskii N. A. (1984) *Operation of Power Plant Water Treatment Units of High Pressure.* 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Energoatomizdat Publ. 408 (in Russian).
11. Guidance Document (RD) 24.031.120–91. Methodic Instructions. Norms of Quality of the Network and Feed Water of Water Boilers, Organization of Water-Chemical Regime and Chemical Control. Moscow, 1991. 31 (in Russian).

Received: 12 January 2017    Accepted: 20 March 2017    Published online: 29 September 2017