

УДК 556.114.3

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-2-11-15

## К методике выполнения научно-исследовательских работ в лаборатории биотехнологий по измерению жесткости в пробах производственных вод

М. В. Паршикова, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия  
Е. А. Гринько, старший преподаватель, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*В работе исследованы показатели жесткости в пробах производственных вод в соответствии с методикой РД 34.37.523.8-88, рассмотрена кинетика работы катионитового фильтра. На базе методики определялась общая жесткость технической воды. Жесткость определяется с помощью свойства ионов магния и кальция соединяться в этиленаминотетраацетатные комплексы. Также рассматривался принцип действия катионитового фильтра на разных этапах 2-ступенчатой схемы натрий-катионированного метода химводоочистки сырой воды, полученной водозабором из реки для последующего применения на промышленных предприятиях в производственных циклах и тепловых электростанциях для генерации тепловой и электрической энергии. Рассматривались физические и химические процессы, протекающие в катионитовых фильтрах при подготовке сырой воды для промышленного применения на разных этапах 2-ступенчатой схемы натрий-катионированного метода химводоочистки, а также методы восстановления характеристик загрузки фильтров до исходных характеристик после процесса очистки. Рассматривался контроль качества воды, необходимый для функционирования при применении на промышленных предприятиях и тепловых электростанциях. Описывался ход экспериментальных исследований, применяемые способы определения жесткости воды и методы аналитического анализа полученных результатов эксперимента. На основе поисковых экспериментов установлены показатели жесткости в анализируемых производственных водах и интервалы их варьирования. В результате проведения экспериментальных исследований разработан алгоритм выполнения измерений жесткости в пробах воды в виде обзорной структуры, а также рассмотрен алгоритм декомпозиции, последовательность действий над объектом анализа экспериментальных данных. Декомпозиция осуществляется с помощью содержательной модели, сквозь которую изучался экспериментальный цикл исследований.*

**Ключевые слова:** фильтрация, жесткость, коррозия, котел, титрование, проба воды.

### Введение

Качество воды, соответствующее требованиям технологического процесса, является необходимым условием прочности элементов котельного агрегата и неотъемлемым условием надежности его работы. Поэтому предусмотрена подготовка исходной воды, ее фильтрация, химическая очистка, удаление соединений железа. Основная цель исследования – обеспечение необходимого качества воды с учетом количества загрязняющих веществ, которое не должно превышать установленной нормы, обозначенной в соответствующей нормативно-технической документации [1].

Экспериментальные исследования по измерению жесткости в пробах производственных вод выполнены в лаборатории биотехнологий.

Жесткость воды определяется с помощью свойства ионов магния и кальция соединяться в этиленаминотетраацетатные (ЭДТА) комплексы. В количественном отношении выражается в количестве миллиграмм или микрограмм-эквивалентов в 1 дм<sup>3</sup>. Минимальное определяемое данным способом значение – 0,2 мкг-экв/дм<sup>3</sup>.

В зависимости от показателя жесткости водной среды используют различные способы его определения:

При показателе жесткости более 5 мкг-экв/дм<sup>3</sup> применяют метод титрования.

При показателе жесткости менее 5 мкг-экв/дм<sup>3</sup> применяют визуально-колориметрический метод [2].

На современном технологическом этапе развития промышленности немаловажным является максимально эффективное получение тепловой и электрической энергии. Для ее производства используются различные станции по получению тепловой электрической энергии из углеводородов (ТЭЦ, ТЭС). На таких станциях энергия, выделяемая при процессе горения углеводородов, преобразует воду в пар (теплоноситель), который подается на паровые турбины для генерации электроэнергии. После паровых турбин пар конденсируется, и остаточное тепло передается теплоносителю тепловых сетей посредством теплообменников. Для эффективного использования воды в данном цикле необходимо контролировать многие параметры исходной воды. Немаловажным параметром для контроля является жесткость воды. Повышенная жесткость воды приводит к появлению отложений нерастворимых солей на всех поверхностях, подверженных нагреву, что приводит

к уменьшению их теплопередающих характеристик и постепенному выходу из строя [3].

Руководство по водно-химическому режиму работы тепловых электростанций (ТЭС) и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) регламентирует следующие виды обработки сырой воды.

Фильтрация на механических фильтрах.

Уменьшение показателя жесткости по 2-ступенчатой схеме натрий-катионирования [4].

**Устройство основного оборудования.**

#### Натрий-катионитовый фильтр

Натрий-катионитовый фильтр, представленный на рис. 1, используется в производстве, где необходимо подготавливать воду для применения в технологических процессах посредством специальных водоочистных установок [5, 6]. Также натрий-катионитовые фильтры применяются для подготовки воды для использования в котлах для промышленных или отопительных целей.

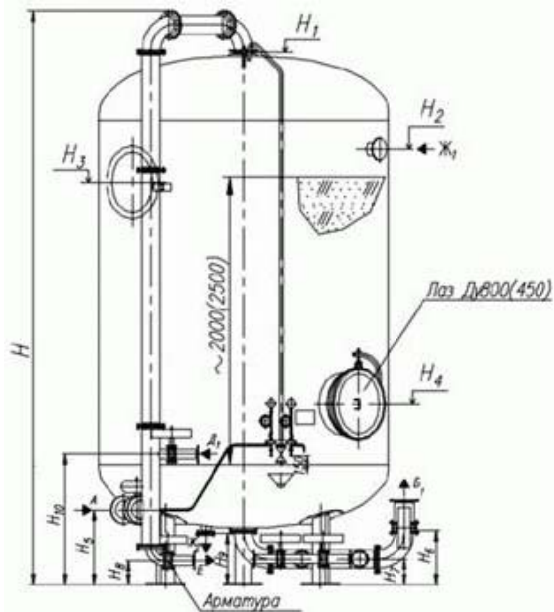


Рис. 1. Устройство натрий-катионитового фильтра первой ступени

Fig. 1. Sodium-cationite filter device of the first stage

Натрий-катионитовый фильтр может применяться в 2-ступенчатой схеме натрий-катионирования как на первой, так и на второй ступени водоочистки.

На первой ступени используется как параллельный фильтр для обработки воды. С помощью натрий-катионитового фильтра происходит удаление соединений  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  [7].

На второй ступени данный фильтр используется для умягчения воды.

#### Контроль качества воды

На протяжении всей истории теплоснабжения наиболее дешевым средством охлаждения

и передачи тепла на расстоянии является вода. Но также вода является идеальным растворителем и, находясь в окружающей среде, растворяет различные вещества, которые переходят в растворы или в нерастворимые примеси. Все эти растворы и примеси пагубно влияют на использование воды в производственных процессах.

Нерастворимые примеси приводят к абразивному эффекту и механическому осаждению на поверхностях и закупорке технологических отверстий. Растворенные примеси при нагревании воды выпадают в известковые отложения, которые ухудшают теплопередачу контактных поверхностей и закупоривают технологические отверстия.

Растворенный в воде кислород при контакте с железом приводит к коррозии и преждевременному разрушению контактных поверхностей.

В связи с этим очень важным при производственных процессах становится очистка сырой воды от вредоносных примесей, поступающих из источников водоснабжения [8].

#### К методике выполнения научно-исследовательских работ в лаборатории биотехнологий

В лаборатории биотехнологий при проведении исследований применяется модель типа «экспериментальный цикл» с формированием проблемно-содержащей системы. В алгоритме выполнения измерений жесткости в пробах производственных вод предусмотрены возможности внесения поправок и дополнений в модель-основание [9, 10]. Алгоритм декомпозиции представлен в виде блок-схемы на рис. 2.

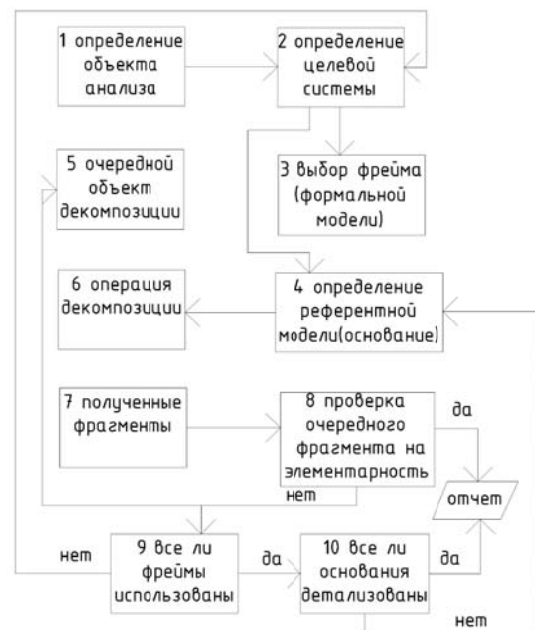


Рис. 2. Блок-схема алгоритма декомпозиции

Fig. 2. Block diagram of the decomposition algorithm

Блок 1. Объектом анализа служит анализ экспериментальных данных.

Блок 2. Этот блок определяет цель экспериментальных исследований.

Блок 3. Этот блок содержит набор фреймовых моделей представления знаний по способу проведения измерений жесткости в пробах производственных вод и рекомендуемые правила выполнения измерений [11].

Блок 4. Экспериментальная модель для измерения жесткости в пробах производственных вод. Декомпозиция осуществляется на основании исследования целевой системы [12, 13].

Блок 5–10. Составление алгоритма декомпозиции. На основании результатов эксперимента составляется дерево декомпозиции, ветви которого являются результатом экспериментальных данных и заключением по проведенным исследованиям, согласно методике определения жесткости в пробах производственных вод.

Блок-схема на рис. 2 является слишком обобщенной и несет лишь функцию передачи основных идей алгоритма декомпозиции [14, 15]. Если требуется большая конкретизация формальных операций в алгоритме, определение оптимальных параметров процесса, то можно обратиться к блок-схеме на рис. 3.

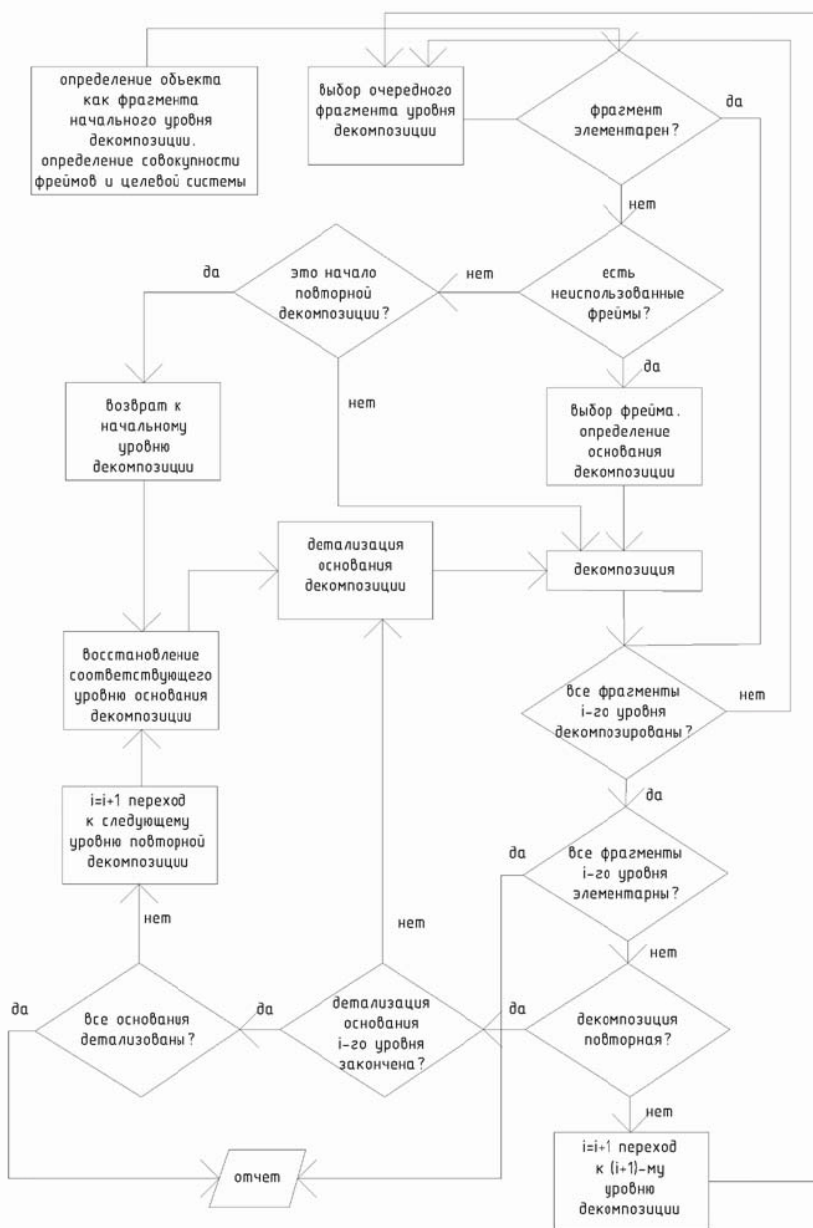


Рис. 3. Блок-схема алгоритма декомпозиции, определение оптимальных параметров процесса

Fig. 3. Block diagram of the decomposition algorithm, determination of the optimal process parameters

На основе поисковых экспериментов установлены показатели жесткости в анализируемых производственных водах. На основе методики определена общая жесткость, равная  $3,61 \text{ ммоль/дм}^3$ , карбонатная жесткость, равная  $2,40 \text{ ммоль/дм}^3$ , некарбонатная жесткость, равная  $1,21 \text{ ммоль/дм}^3$ . В лаборатории биотехнологий проанализированная проба исследуемой природной воды, по результатам опыта, относится к мягкой, так как общая жесткость менее  $4 \text{ ммоль/дм}^3$ .

### Заключение

В результате проведения экспериментальных исследований разработан алгоритм выполнения измерений жесткости в пробах производственных вод в виде древовидной структуры.

Декомпозиция осуществляется с помощью содержательной модели, сквозь которую мы рассматривали экспериментальный цикл исследований.

В лаборатории биотехнологий выполнены научно-исследовательские работы по определению жесткости в пробах производственных вод для обеспечения необходимого качества исследуемых образцов воды.

### Библиографические ссылки

1. Белоконова Н. А. Совершенствование методологии контроля и управления технологическими процессами подготовки воды на ТЭС : дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург : Уральский государственный технический университет, 2009. 250 с.
2. Алексеев Л. С. Контроль качества воды : учебник. М. : ИНФРА-М, 2022. 159 с.
3. Новиков В. В. Методика измерений общей жесткости в пробах природных и сточных вод титриметрическим методом. ПНД Ф14.1: 2:3.98-97, МОСКВА, 2016. 57с.
4. РД 52.24.395-2017. Жесткость воды. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б. Ростов-на-Дону, 2017. 15 с.
5. РД 52.24.403-2018. Массовая концентрация ионов кальция в водах. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б. Ростов-на-Дону, 2018. 17 с.
6. Ахметова Т. И. Физико-химические основы водоподготовки: методические указания и задания для самостоятельной работы. Нижнекамск : Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2015. 46 с.
7. Копылов А. С., Лавыгин В. М., Очков В. Ф. Водоподготовка в энергетике : учеб. пособие. М. : Изд. дом МЭИ, 2016. 310 с.
8. Горлушкина Н. Н. Системный анализ и моделирование информационных процессов и систем : учеб. пособие. СПб. : Университет ИТМО, 2016. 120 с.
9. Волкова А. А., Шишукнов В. Г. Системный анализ и моделирование процессов в техносфере : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. 244 с.

10. Ермолаева В. А. Изучение сезонных изменений жесткости и щелочности питьевой воды // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 1 (77). С. 44–53.

11. Gorbacheva T. T., Mazukhina S. I. and Cherepanova T. A. (2017). Physicochemical modelling of element speciation as an addition to a biotesting method of melted snow water. Chemistry for Sustainable Development. No. 2, pp. 161-168.

12. Trusey I. V., Gurevich Yu. L., Ladygin V. P., Lankin Yu. P. and Fadeev S. V. (2017). Analysis of the content of nitrate and ammonium ions at bioremediation of ground water polluted by oil products. Chemistry for Sustainable Development, No. 2, pp. 199-205.

13. Амбросова Г. Т., Матюшенко Е. Н., Синеева Н. В. Места дефосфатирования городской сточной жидкости и эффект удаления фосфора реагентами // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 4. 25 с.

14. Петухова Е. А., Ручникова О. И. Дефосфотация сточных вод // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 2. 136 с.

15. Маскайкин В. Н., Масляев В. Н. Результаты мониторинга грунтовых вод на территории северо-западной котельной филиала «Мордовский» ПАО «Т Плюс» в 2017 году // Современные проблемы территориального развития : электрон. журн. 2018. 17 с.

### References

1. Belokonova N.A. Sovershenstvovanie metodologii kontrolya i upravleniya tekhnologicheskimi protsessami podgotovki vody na TES [Improving the methodology for monitoring and managing technological processes of water treatment at TPPs]. DSc thesis. Ekaterinburg : Ural'skii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2009. 250 p. (in Russ.)
2. Alekseev L.S. *Kontrol' kachestva vody* [Water quality control]. Moscow : INFRA-M Publ., 2022. 159 p. (in Russ.)
3. Novikov V.V. *Metodika izmerenii obshchei zhestkosti v probakh prirodnykh i stochnykh vod titrimetricheskim metodom* [Method for measuring the total hardness in samples of natural and waste waters by the titrimetric method]. PND F14.1: 2:3.98-97, Moscow, 2016. 57 p. (in Russ.)
4. RD 52.24.395-2017. *Zhestkost' vody. Metodika izmerenii titrimetricheskim metodom s trilonom B.* [Hardness of water. Measurement technique by titrimetric method with trilon B]. Rostov-on-Don, 2017. 15 p. (in Russ.)
5. RD 52.24.403-2018. *Massovaya kontsentratsiya ionov kal'tsiya v vodakh. Metodika izmerenii titrimetricheskim metodom s trilonom B.* [Mass concentration of calcium ions in waters. Measurement technique by titrimetric method with Trilon B]. Rostov-on-Don, 2018. 17 p. (in Russ.)
6. Akhmetova T.I. *Fiziko-khimicheskie osnovy vodo-podgotovki: metodicheskie ukazaniya i zadaniya dlya samostoyatel'noi raboty* [Physical and chemical bases of water treatment: guidelines and tasks for independent work]. Nizhnekamsk: Nizhnekamskii khimiko-tekhnologicheskii institut (filial) FGBOU VPO «KNITU», 2015. 46 p. (in Russ.)

7. Kopylov A.S., Lavygin V.M., Ochkov V.F. *Vodopodgotovka v energetike* [Water treatment in the energy sector]. Moscow : Izd. dom MEI, 2016. 310 p. (in Russ.).
8. Gorlushkina N.N. *Sistemnyj analiz i modelirovanie informacionnyh processov i sistem* [System analysis and modeling of information processes and systems]. Saint Petersburg: Universitet ITMO, 2016. 120 p. (in Russ.).
9. Volkova A.A., Shishkunov V.G. *Sistemnyj analiz i modelirovanie processov v tehnosfere* [System analysis and modeling of processes in the technosphere]. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2019. 244 p. (in Russ.).
10. Ermolaeva V.A. [Study of seasonal changes in hardness and alkalinity of drinking water]. *Voda i jekologija: problemy i reshenija*. 2019. No. 1. Pp. 44-53 (in Russ.).
11. Gorbacheva T. T., Mazukhina S. I. and Cherepanova T. A. (2017). Physicochemical modelling of element speciation as an addition to a biotesting method of melted snow water. *ChemistryforSustainableDevelopment*. No. 2, pp. 161-168.
12. Trusey I.V., Gurevich Yu.L., Ladygin V.P., Lankin Yu.P. and Fadeev S.V. (2017). Analysis of the content of nitrate and ammonium ions at bioremediation of ground water polluted by oil products. *ChemistryforSustainableDevelopment*, No. 2, pp. 199-205.
13. Ambrosova G.T., Matjushenko E.N., Sineeva N.V. [Sites of urban wastewater dephosphating and the effect of phosphorus removal by reagents]. *Voda i jekologija: problemy i reshenija*. 2017. No. 4. 25 p. (in Russ.).
14. Petuhova E.A., Ruchnikova O.I. [Waste water dephosphatization]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Prikladnaja jekologija. Urbanistika*. 2017. No. 2. 136 p. (in Russ.).
15. Maskajkin V.N., Masljaev V.N. [The results of groundwater monitoring in the territory of the north-western boiler house of the Mordovski branch of PJSC T Plus in 2017]. *Sovremennye problemy territorial'nogo razvitiya : jelektron. zhurn*. 2018. 17 p. (in Russ.).

\*\*\*

### The Methodology of Research Work Execution in the Laboratory of «Biotechnologies» For Measuring The Hardness in Industrial Water Samples

M. V. Parshikova, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

E. A. Grinko, Senior Lecturer, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

*In this paper, the hardness indicators values in industrial water samples were studied in accordance with the methodology RD 34.37.523.8-88 and the kinetics of the cationite filter was considered. Based on the method, the total hardness of technical water was determined. Hardness is determined by means of magnesium and calcium ions properties to combine into ethylene amine tetraacetate complexes. Also, the principle of cationite filter operation at different stages of the 2-stage scheme of the sodium-cationized method of chemical raw water treatment obtained by water intake from the river for subsequent use in industrial enterprises in production cycles and thermal power plants for generating thermal and electric energy was considered. Physical and chemical processes occurring in cation exchange filters during the preparation of raw water for industrial use at different stages of the 2-stage scheme of the sodium-cationized method of chemical water treatment, as well as methods for restoring the characteristics of the filter loading to the original characteristics after the cleaning process, were considered. Water quality control necessary for functioning when used in industrial enterprises and thermal power plants was considered. The course of experimental studies, the applied methods for determining the water hardness and the methods of analysis of the experiment obtained results the were described. On the basis of exploratory experiments, the indicators of hardness in the analyzed industrial waters and the intervals of their variation were established. As a result of experimental studies, an algorithm for performing hardness measurements in water samples in the form of a tree structure was developed, as well as a decomposition algorithm, a sequence of actions on the object of experimental data analysis. Decomposition is carried out with the help of a conceptional model, through which the experimental cycle of research was studied.*

**Keywords:** filtration, hardness, corrosion, boiler, titration, water sample.

Получено: 26.02.23

#### Образец цитирования

Паршикова М. В., Гринько Е. А. К методике выполнения научно-исследовательских работ в лаборатории биотехнологий по измерению жесткости в пробах производственных вод // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 2. С. 11–15. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-2-11-15.

#### For Citation

Parshikova M.V., Grinko E.A. [The methodology of research work execution in the laboratory of «Biotechnologies» for measuring the Hardness in Industrial water samples]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 2, pp. 11-15 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2023-2-11-15.