

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Станислав Душкин¹, Станислав Душкин²

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова
17, вул. Маршала Бажанова, м. Харків, 61002

¹докт. техн. наук, профессор, stanislav.dushkin@kname.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4655-6197
канд. техн. наук, d.akass@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9345-9632

DOI: 10.32347/2524-0021.2018.30.6-13

Анотація. У статті висвітлено питання, пов'язані з використанням фізичних методів ресурсоощадних технологій у системах водопостачання. Встановлено, що використання фізичних методів ресурсоощадних технологій у системах водопостачання дозволяє інтенсифікувати процеси очищення води, поліпшити якість обробки води та знизити витрати реагентів на 20...25%. Фізичні методи ресурсоощадних технологій для процесів обробки води забезпечують створення оптимальних умов для швидкого та повного розділення гетерогенної системи природної води, що в практиці обробки води зводиться до отримання великих пластівців, які легко осідають і мають високорозвинену поверхню, та зменшення часу їх формування. Розгляд опублікованих робіт показує, що поширення набули наведені нижче фізичні методи ресурсоощадних технологій: накладання електричного поля; накладання магнітного поля; електрокоагуляція.

Розроблено метод переривчастої електрокоагуляції, що являє собою технологічний процес очищення води, в якому час від часу надходження електрогенерованого реагенту (металу) у воду зупиняється. Використання концентрованого розчину коагулянту сульфату алюмінію в процесах обробки води дозволяє інтенсифікувати процеси очищення води в контактних освітлювачах, що проявляється у підвищенні якості очищеної води та зниженні витрати коагулянту на 20...25%. Використання активованого розчину коагулянту для очищення води дозволяє збільшити тривалість фільтроциклу на 25...30% без погіршення якості фільтрату. У той же час якість фільтрату при продовженні циклу фільтра на 30...35% вище, ніж при використанні звичайного розчину коагулянту.

Ключові слова: коагуляція; коагулянт сульфату алюмінію; активований розчин коагулянту; кольоровість води і вміст завислих речовин; електрокоагуляція.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из наиболее распространенных методов очистки воды от грубодисперсных и коллоидных загрязнений является метод обработки воды коагулянтами. Однако при неблагоприятных условиях коагуляции – недостаточная щелочность, высокая цветность и низкая температура воды – расход реагента достаточно значителен. В связи с этим метод требует усовершенствования, а именно: повышения скорости формирования и выпадения

коагулированной взвеси в осадок [1, 2].

Физические методы ресурсосберегающих технологий процессов очистки воды предусматривают создание оптимальных условий для быстрого и полного разделения гетерогенной системы, которой являются природные воды, что в практике водоочистки сводится к получению легкооседающих крупных хлопьев с сильно развитой поверхностью и к сокращению времени формирования их [3, 4].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Рассмотрение опубликованных работ [5, 6] показывает, что получили распространение следующие физические методы ресурсосберегающих технологий:

- наложение электрического поля;
- наложение магнитного поля;
- электрокоагуляция.

При наложении электрического поля на осветляемую воду ускоряются процессы формирования и осаждения коагулированной взвеси, полученной при обработке сульфатом алюминия мутных вод; повышается степень очистки воды от органических и неорганических примесей фильтрованием. С увеличением концентрации взвешенных веществ и ростом напряженности электрического поля эффективность обработки воды повышается. При этом потребность в коагулянте снижается в среднем на 15% [7, 8].

Использование магнитного поля для интенсификации процессов очистки воды наиболее полно исследовано в ХНУГХ им. А.Н. Бекетова [9-11]. Установлено, что:

- совместное осаждение карбоната кальция и гидроксида магния, образующихся в ходе известкового умягчения воды, ускоряется после проведения магнитной обработки воды примерно в 1,5 раза;
- уменьшается структурно-механическая гидратация и дзета-потенциал частиц;
- вызывает увеличение плотности гидравлической крупности хлопьев коагулированной взвеси.

Нестабильные результаты не позволяют осуществить широкое внедрение [10].

Прогрессивным направлением в технологии очистки природных и сточных вод является применение электрохимических методов, в частности, метода очистки воды в электролизерах с растворимыми электродами, известного в ли-

тературе под названием «электрокоагуляция».

Электрокоагуляция (электрохимическое коагулирование) заключается в том, что в обрабатываемую воду вводятся вместо коагулянта ионы тяжелых металлов, полученные электрохимическим путем. В основе электрокоагуляции лежит процесс анодного растворения металлов под действием постоянного электрического тока. Перешедшие в раствор катионы Al^{3+} или Fe^{2+} гидролизуются и служат активными коагулянтами для примесей воды.

Существенным преимуществом электрокоагуляции перед реагентными методами очистки воды является возможность отказа от строительства громоздких очистных сооружений, занимающих значительные производственные площади [12-14].

Анализ существующих методов ресурсосберегающих технологий в процессах очистки воды показывает, что весьма актуальным является постановка новых, более эффективных как по капитальным, так и по эксплуатационным затратам ресурсосберегающих технологий в области очистки воды, к числу которых относятся рассматриваемые в данной работе физические методы водоподготовки, которые позволяют улучшить качество воды, снизить расход реагентов и себестоимость осветленной воды [15-18].

Целью работы является обоснование использования физических методов ресурсосберегающих технологий в процессах водоподготовки систем водоснабжения.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В ХНУГХ им. А.Н. Бекетова разработан метод прерывистого электрокоагулирования, которое представляет технологический процесс очистки воды, при котором время от времени прекращается поступление электрогенерированного реагента (металла) в воду. Процесс в этом случае происходит в условиях кон-

такта воды с ранее образовавшимися при электрокоагулировании хлопьями гидроксидов [19, 20].

Исследования выполнялись на модельной воде р. Сев. Донец искусственно замутненной мелкодисперсными частицами каолина, цветность модельной воды корректировалась водной вытяжкой торфа. Методика проведения исследований изложена нами ранее [21].

Качественная характеристика модельной воды приведена ниже:

температура, °С	10,5...12,0
содержание взвешенных веществ, мг/дм ³	25...75
цветность, град. ПКШ	50...150
рН	7,1...7,2
общая жесткость, мг-экв/дм ³	6,4...6,7
щелочность, мг-экв/дм ³	2,8

При выполнении исследований был использован двухсекционный электрокоагулятор, описание которого изложено [21].

Эффективность прерывистой коагуляции определялась по отношению:

$$\mathcal{E} = \frac{M_p}{M_n} \cdot 100\%$$

где \mathcal{E} – эффективность прерывистой коагуляции, %; M_p – остаточное содержание взвешенных веществ, цветность осветленной воды, мг/дм³ при непрерывной работе электрокоагулятора, ч; M_n – то же, при прерывистой коагуляции, ч.

На рис. 1 показано улучшение качественных показателей осветления воды (цветность, содержание взвешенных веществ) при прерывистом электрокоагулировании.

Оптимальным соотношением t_p времени работы электрокоагулятора и перерыва в его работе t_n составляет 1:1. Последнее находится в диапазоне проведенных исследований, как по цветности, так и по содержанию взвешенных веществ в осветленной воде.

Установлено, что прерывистое электрокоагулирование позволяет интенсифицировать процесс осветления воды, улучшить качество осветленной воды, снизить расход электроэнергии в среднем на 50%, уменьшить рабочую площадь очистных сооружений, при этом себестоимость очистки снижается на 25...30%.

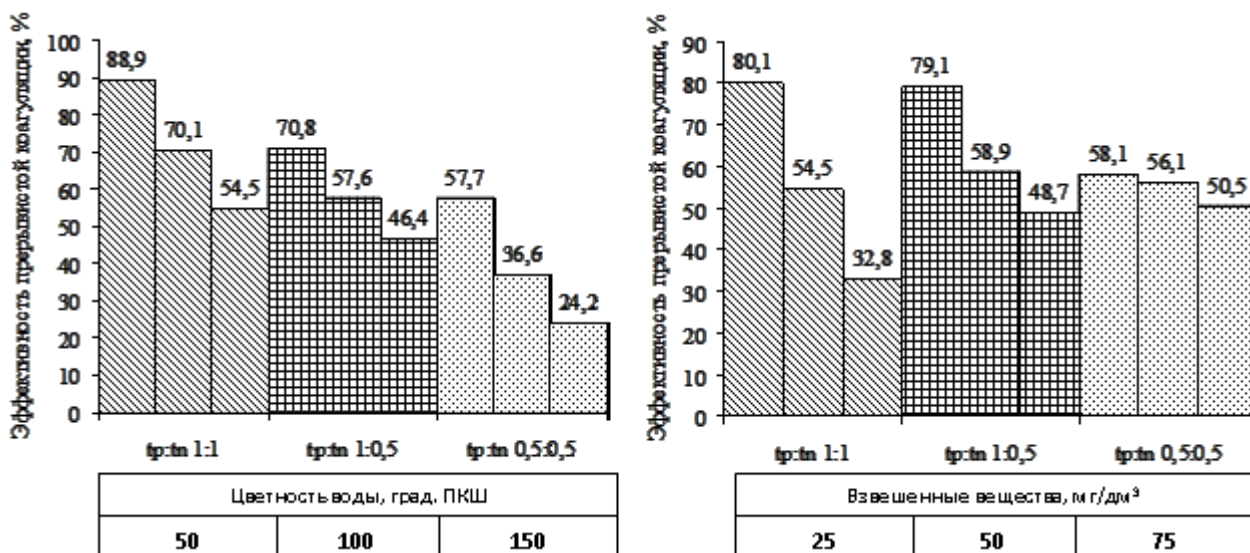


Рис. 1. Улучшение качественных показателей осветления воды при прерывистом электрокоагулировании

Fig. 1. Improving the quality of water treatment with intermittent electrocoagulation

К ресурсосберегающим технологиям можно отнести использование концентрированного раствора коагулянта сульфата алюминия в процессах очистки воды. Последнее позволяет интенсифицировать процессы очистки воды в контактных осветлителях, что находит выражение в повышении качества осветленной воды и снижение расхода коагулянта на 20...25%.

Опытные данные показывают, что использование концентрированного раствора коагулянта сульфата алюминия позволяет снизить дозы его в среднем на 20% без ухудшения качества осветленной воды. Так, при концентрации коагулянта 10%, содержание взвешенных веществ в осветленной воде составляет 5,1 мг/дм³ и цветность воды – 25 град. ПКШ, а при концентрации коагулянта 20...25%, содержание взвешенных веществ и цветность воды составляет, соответственно, 4 мг/дм³ и 18 град. ПКШ. При снижении дозы коагулянта до 35% содержание взвешенных веществ в осветляемой воде составляет 4,1 мг/дм³, цветность – 23 град. ПКШ, т.е. находится на уровне 100% расхода коагулянта.

Использование активированного раствора коагулянта при очистке воды позволяет увеличить продолжительность фильтроцикла на 25...30% без ухудшения качества фильтрата. При этом качество фильтрата на продолжении фильтроцикла на 30...35% выше, чем при использовании обычного раствора коагулянта [22, 23], что подтверждается опытными данными, приведенными на рис. 2. Мутность фильтрата осветленной воды при обработке обычным раствором коагулянта осветляемой воды находится в пределах 0,72...0,77 мг/дм³ при использовании активированного раствора коагулянта качество фильтрата значительно выше и составляет 0,41...0,48 мг/дм³. Продолжительность фильтроцикла при обработке воды обычным раствором коагулянта – 6 ...6,5 часов, активированным – 7,5...8 часов (рис. 2).

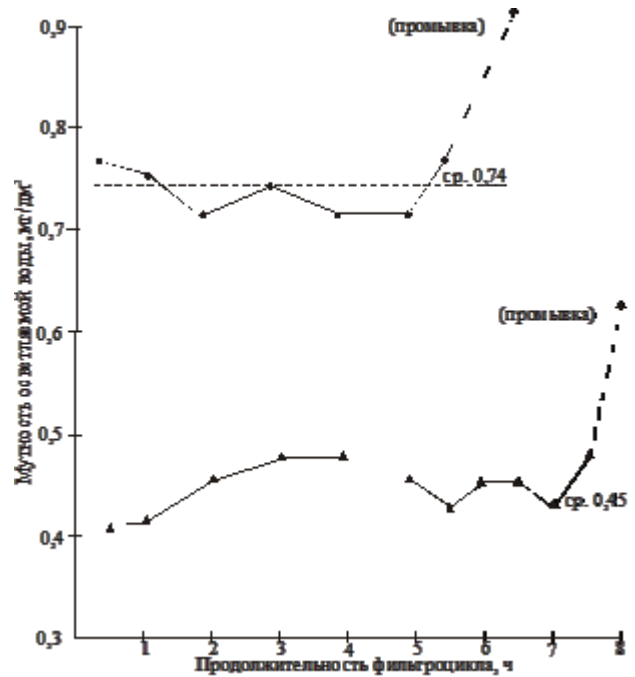


Рис. 2. Влияние активированного раствора коагулянта сульфата алюминия на продолжительность фильтроцикла: ● – активированный раствор коагулянта; ▲ – обычный раствор коагулянта

Fig. 2. The influence of the activated solution of aluminum sulfate coagulant on the filtration cycle duration: ● – activated coagulant solution; ▲ – conventional coagulant solution

Мутность фильтрата на всем протяжении фильтроцикла стабильная, среднее повышение продолжительности фильтроцикла при использовании активированного раствора коагулянта составляет 25%, уменьшение мутности фильтрата – 39,1%.

Анализ опытных данных показывает, что при обработке осветленной воды активированным раствором коагулянта процессы осветления и отстаивания коагулированных примесей протекают более интенсивно, вследствие снижения структурно-механической гидратации коагулированного осадка происходит увеличение удельного веса коагулированных примесей, имеющих место при

использовании активированного раствора коагулянта [24 - 26].

Продолжительность защитного действия кварцевой загрузки возрастает с увеличением удельного веса коагулированных примесей за счет уменьшения структурно-механической гидратации их, что позволяет, в конечном итоге, увеличить защитное действие кварцевой загрузки по сравнению с обычной коагуляцией примесей. Одновременно увеличится время достижения предельно допустимой потери напора. При этом обеспечиваются условия санитарной надежности очистки воды ($t_3 > t_H$), что позволяет обеспечить оптимальный режим фильтрации воды через зернистую загрузку фильтра.

Результаты исследований переданы для опытно-промышленного внедрения в КП «Харьковводоканал».

ВЫВОДЫ

Использование физических методов ресурсосберегающих технологий в процессах очистки воды позволяет интенсифицировать процессы очистки воды, что находит выражение в повышении качества осветленной воды и снижение расходов реагентов, используемых в технологическом процессе водоподготовки.

Следует отметить, что использование физических методов ресурсосберегающих технологий требует проведения дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драгинский В.Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод: науч. изд. / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева, С.В. Гетьманцев. М.: Наука, 2005. 576 с.
2. Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды / Л. А. Кульский. К.: Наукова думка, 1983. 528 с.
3. Душкин С.С. Прогрессивные технологии в области очистки природных и сточных вод / С.С. Душкин, Г.И. Благодарная. Ком-

мунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 90. К.: Техника, 2010. С. 3-11.

4. Melike Yalili Kishe, Kadir Kestioglu, Taner Yonar Landfill leachate treatment by the combination of physicochemical methods // *Biology Environmental Scientific 1* (1) 2007. С. 37-43.
5. Бабенков С.Д. Очистка воды коагулянтами / С.Д. Бабенков. М.: Наука, 1977. 356 с.
6. Эпоян С.М. Теоретические основы активирования растворов коагулянта сульфата алюминия при подготовке питьевой воды / С. Эпоян, С. Душкин, Т. Айрапетян // *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin-Rzeszow, 2014. Вып. 16. No 6. С. 11-18.
7. Кульский Л.А. Технология очистки природных вод / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. К.: Вища школа. Головное изд-во, 1981. 328 с.
8. Куликов Н.И. Теоретические основы очистки воды: учебное пособие / Н. И. Куликов, А. Я. Найманов, Н. П. Омельченко, В. Н. Чернышев. Донецк: изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2009. 298 с.
9. Душкин С. С. Повышение эффективности работы фильтров очистных сооружений водопровода / С. С. Душкин, Е. Б. Сорокина, Г. И. Благодарная // *Вестник Харьковского государственного политехнического университета*. Вып. 65. Х.: ХГПУ, 1999. С. 30-34.
10. Hunt S.M., Werner E.M., Huang B. et al. Hypothesis for the Role of Nutrient Starvation in Biofilm Detachment // *Applied and environmental microbiology*. 2004. V.70, N 12. P. 7418-7425.
11. Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. // Сб. третьего всесоюзного совещания. Новочеркасск: НПИ, 1975. 265 с.
12. Тугай А. М. Водопостачання / А. М. Тугай, В. О. Орлов. К.: Знання, 2008. 735 с.
13. Dushkin S.S. Application of activated reagent solution in water treatment. *Vadni hospodarstvi, Crechoslovakia, Series B*, 38, 6, 1989. 3 p.
14. American water works association water quality division disinfection Systems Committee / Committee report: disinfection at small systems // *J. Am. Water Works Assoc.* 2000. V.92. P. 24-31.
15. Душкин С. С. Современные методы очистки воды и пути их интенсификации / С.

С. Душкин, И. Н. Гусь, О. В. Володченко, В. О. Тихонюк-Сидорчук // *Вісник ОДАБА*. Одесса: Астропринт, 2003. Вып. 11. С. 136-140.

16. **Сорокина Е.Б.** Повышение эффективности работы очистных сооружений городского водопровода при очистке воды Кременчугского водохранилища // *Научный вестник строительства: Сб. научных трудов*. Вып. 7. Харьков: ХДТУБА, 1999. С. 280-283.

17. **Василенко А.А.** Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения: Учебное пособие / А. А. Василенко, П. А. Грабовский, Г. М. Ларкина, А. В. Полищук, В. И. Прогульный. *Киев-Одесса: КНУСА, ОГАСА*. 2007. 307 с.

18. **Хоружий П. Д.** Ресурсоощадні технології водопостачання / П. Д. Хоружий, Т. П. Хомутецька, В. П. Хоружий. *К.: Agrarna nauka*, 2008. 534 с.

19. **Душкин С.С.** Прерывистое электрокоагулирование / С.С. Душкин, Т.А. Шевченко, С.С. Душкин. *Водопостачання та водовідведення: Вироб.-практ. журнал*. К.: Гнозіс, 2016. №6. С. 49-51.

20. **Патент України №117157.** Спосіб електрохімічної очистки природних і стічних вод / С.С. Душкин, С.С. Душкин, М.В. Дегтяр, І.О. Жиряков / *Державний департамент інтелектуальної власності МОН України*. опубл. 25.06.2018., Бюл. №12.

21. **Душкин С.С.** Методологические аспекты проведения исследований при использовании активированных растворов коагулянта в процессе очистки воды / С.С. Душкин // *Коммунальное хозяйство міст: наук.-техн. зб.* Харків: ХНАМГ, 2012. Вип. 105. С. 320 – 334.

22. **Душкин С.С.** Использование активированных растворов реагентов при подготовке экологически чистой питьевой воды / С.С. Душкин // *Экология: образование, наука, промышленность и здоровье*. г. Белгород 14-16 ноября 2013г. сб. докладов V междунар. – науч. практ. конф. *Белгород: Изд-во БГТУ*, 2013. С. 26-29.

23. **Володченко О.В.** Анализ методов интенсификации работы очистных сооружений / О.В. Володченко // *Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб.* Вып. 36. К.: Техника, 2002. С. 267-271.

24. **Благодарная Г.И.** Повышение фильтрующей способности кварцевой загрузки фильтра при обработке его активированным

раствором флокулянта // *Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб.* Вып. 36. К.: Техника, 2001. С. 279-283.

25. **Эпоян С.М.** Влияние параметров активации алюмосодержащего коагулянта на эффективность очистки воды / С.М. Эпоян, С.С. Душкин // *Науковий вісник будівництва: наук. - техн. зб.* – Харків: ХНУБА. ХОТВ АБУ, 2013. – Вип. 73. – С. 246-263.

26. **Запольский А. К.** Водопостачання, водовідведення та якість води / А.К. Запольский. *К.: Вища школа*, 2005. 678 с.

REFERENCES

1. **Draginskiy V., Alekseeva, L., Getmantsev S. (2005).** Coagulation in the technology of natural water treatment. *Moscow: Nauka*, 576. [in Russian]
2. **Kulskiy L. (1983).** Theoretical basis and technology of conditioning of water. *Kiev: Naukova dumka*, 528. [in Russian]
3. **Dushkin S.S., Blagodarnaya G.I. (2010).** Progressive technologies in the field of natural and waste water treatment. *Kommunalnoe khoziazjstvo horodov. Nauk.-techn. sb.*, 90. 3–11. [in Russian]
4. **Melike Yalili Kische, Kadir Kestioglu, Taner Yonar Landfill. (2007).** Leachate treatment by the combination of physicochemical methods. *Biology Environmental Scientific I (1)*. 37-43. [in Russian]
5. **Babekov S.D. (1977).** Water treatment by coagulants. *Moscow: Nauka*. 356. [in Russian]
6. **Epojan S. Dushkin S., Hayrapetyan T. (2014).** Theoretical bases of the activation of aluminum sulfate coagulant solutions in the preparation of drinking water. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. Lublin-Rzeszow*. 16(6). 11-18. [in Russian]
7. **Kulsky L.A., Strokach P.P. (1981).** Technology of natural waters treatment. *Kiev: Vishcha schola*, 328. [in Russian]
8. **Kulikov N., Naimanov A., Omelchenko N., Chernyshev V. (2009).** Theoretical basis of water treatment. *Donetsk: Publishing house «Nouvelage» (Donetsk branch)*, 298. [in Russian]
9. **Dushkin S.S., Sorokina E.B., Blagodarnaya G.I. (1999).** Improving the efficiency of filtering water treatment plants. *Bulletin of the Kharkov State Polytechnic University*, 65. *Kharkov: KhGPU*. 30-34. [in Russian]

10. **Hunt S.M., Werner E.M., Huang B. et al. (2004).** Hypothesis for the Role of Nutrient Starvation in Biofilm Detachment. *Applied and environmental microbiology*. 70(12). 7418-7425.
doi.org/10.1128/aem.70.12.7418-7425.2004
11. **Questions of the theory and practice of magnetic water treatment and water systems. (1975).** Collection of the third all-union meeting. *Novocherkassk: NPI*. 265.
12. **Tugay A., Orlov V. (2009).** Water supply: textbook. *Kyiv: Knowledge*. 735. [in Ukrainian]
13. **Dushkin S.S. (1989).** Application of activated reagent solution in water treatment. *Vadni hospodarstvi, Crechoslovakia, Series B*, 38(6). 3.
14. **Water Quality Division Disinfection Systems Committee (2000).** American water works association water quality division disinfection Systems Committee. Committee report: disinfection at small systems. *J. Am. Water Works Assoc.* 92. 24-31.
doi.org/10.1002/j.1551-8833.2000.tb08941.x
15. **Dushkin S.S., Gus I. N., Volodchenko O. V. Tikhonyuk-Sidorchuk V. O. (2003).** Modern methods of water treatment and ways of their intensification News of the ODABA. *Odessa: The Astroprint, 11*. 136-140. [in Russian]
16. **Sorokina E. B. (1999).** Improvement of the efficiency of the treatment facilities of the urban water supply system at the water treatment of the Kremenchug reservoir. *Scientific course of construction: Collection of scientific works*. 7. 280-283. [in Russian]
17. **Vasilenko A.A., Grabovsky P.A. Larkina G.M., Polishchuk A.V., Progulny V.I. (2007).** Reconstruction and intensification of water supply and sanitation facilities. *Kiev: Odessa: KNUSA, OGASA*. 307. [in Russian]
18. **Horuzhiy P. D., Khomutetska T.P., Horuzhiy V.P. (2008).** Resource-saving water supply technologies. *Kiev: Agrarian Science*, 534. [in Ukrainian]
19. **Dushkin S.S., Dushkin S.S. (2016).** Intermittent electrocoagulation. *Vodopostachannya ta vodovidvednya: Virob.-prakt. journal*. *Kiev: Gnozis*, 6. 49-51. [in Russian]
20. **Dushkin S., Dushkin S., Degtyar M., Zhyryakov I. (2018).** *Ukrainian Patent* 117157. June 25, 2018. [in Ukrainian]
21. **Dushkin S.S. (2012).** Methodological aspects of studies using activated solutions coagulant in water treatment. *Kommunalnoe khoziazjstvo horodov. Nauk.-techn. sb.*, 105. 320 – 334. [in Russian]
22. **Dushkin S.S. (2013).** The use of activated reagent solutions in the preparation of clean drinking water. *Ecology: education science, industry and health*. 14-16 November 2013. *Belgorod*, 26-29. [in Russian]
23. **Volodchenko O.V. (2002).** Analys of methods for intensification of treatment facilities. *Kommunalnoe khoziazjstvo horodov. Nauk.-techn. sb.*, 36. 267-271. [in Russian]
24. **Blagodarnaya G.I. (2001).** Increasing the filtering ability of quartz filter loading when it is processed with an activated flocculant solution. *Kommunalnoe khoziazjstvo horodov. Nauk.-techn. sb.*, 36. 279-283. [in Russian]
25. **Epoyan S.M., Dushkin S.S. (2013).** Influence of the parameters of activation of alumina-containing coagulant on the efficiency of water treatment. *Naukovy visnik budivnitsva. Nauk.-techn. sb.*, 73. 246-263. [in Russian]
26. **Zapolsky A.K. (2005).** Water supply, sewage and water quality. *Kiev: Vishcha shkola*. 678. [in Russian]

Physical methods of resource saving technologies in water supply systems

Stanislav Dushkin, Stanislav Dushkin

In article the questions connected with use of physical methods of resource-saving technologies in water supply systems are explained. It is established that use of physical methods of resource-saving technologies in water supply systems allows to intensify processes of water treatment, to improve quality of water treatment and reduce expenses of reagents on 20-25%. The physical methods of resource-saving technologies for water treatment processes provide for the creation of optimal conditions for the rapid and complete separation of the heterogeneous system that are natural water, that in practice of water treatment comes down to getting large flakes that easily settle with a highly developed surface and reducing their formation time. Consideration of the published works shows that the followings physical methods of resource-saving technologies got distribution: imposition of electric field; imposition of magnetic field; electrocoagulation.

A method of intermittent electrocoagulation has been developed, which represents a technological process of water purification, in which from time to time the flow of electrogenerated reagent (metal) into water stops. The use of a concentrated solution of aluminum sulfate coagulant is in the processes of water treatment. The last allows to intensify the processes of water treatment in contact clarifiers, that finds expression in the increase of quality of clarified water and decline of expense of coagulant on 20–25%. The use of the activated solution of coagulant for water treatment allows to increase duration of the filter cycle by 25–30% without deterioration of the quality of filtrate. At the same time, the quality of the filtrate on the continuation of the filter cycle is 30–35% higher than at the use of ordinary solution of coagulant.

Key words: coagulation; aluminum sulfate coagulant; activated coagulant solution; chromaticity of water and suspended matter content; electrocoagulation.

Стаття надійшла до редакції 14.12.2018